

PM2.5 減量與相關技術研討會： 搶救蒙塵的台灣文化之都（台中場）

主辦團體：台大職衛所、台灣生態學會、看守台灣協會

協辦團體：彰化縣醫療界聯盟、荒野保護協會台中分會、台中市新環境保護協會、
主婦聯盟環境保護基金會台中分會

時間：103/07/26

地點：維他露基金會

議程

時間	議題	講者
9:00-9:20	報到	
9:20-9:40	來賓致詞	楊國禎／靜宜大學生態人文學系 教授 吳焜裕／台大職衛所 教授 何欣純／立法委員
9:40-10:30	PM2.5 的來源與現況	主持人：楊國禎教授 主講人：劉志堅／看守台灣協會 理事
10:30-10:40	Break	
10:40-11:30	PM2.5 的健康危害	主持人：葉光芄醫師 主講人：鄭尊仁／台大職衛所 教授
11:30-12:20	PM2.5 的防治與減量	主持人：陳炳煌教授 主講人：林文印／看守台灣協會 常務理事、 台北科技大學環境規劃與管理研究所 教授
12:20-13:20	午餐時間	
13:20-14:10	我國再生能源的發展潛力	主持人：蔡志宏醫師 主講人：李欣哲／工研院綠能與環境研究所 副組長
14:10-15:00	氫氣燃料電池機車的發展 前景	主持人：劉曜華教授 主講人：黃林輝／亞太燃料電池公司總經理
15:00-15:10	Break	
15:10-16:00	淨煤與儲能的選項與角色	主持人：吳焜裕教授 主講人：林立夫／交大機械工程學系 合聘 教授
16:00-16:50	綜合討論	主持人：吳焜裕教授

前言

空

氣是生物存活所不可須臾或缺的，但人為活動卻排放各種空氣污染物。大多空氣污染的來源及排放量與能量需求、燃料使用有直接的關係，污染排放量常與燃料種類與用量、電力用量、汽車之油料用量、暖氣用量等有直接的關係。空氣品質的變化因素除了排放源因素外，氣候也是影響空氣污染的重要因素。並需注意「光化學煙霧」課題，其能產生衍生性的細懸浮微粒等物質，對人體健康及大氣環境變遷有嚴重影響。要控制細懸浮微粒（PM2.5），需注意其來源、成因、形成機制，了解其真正的影響因素，才能有效的加以控制。

PM2.5 (Particulate Matter < 2.5 μm) 為粒徑小於 2.5 μm 之粒狀空氣污染物，即所謂的「細懸浮微粒」。由於粒徑極小，易隨呼吸進入人體，對健康造成影響。尤其粒徑越細者，越容易吸入肺部深處，吸入後停留於肺泡區，引起呼吸道疾病、心血管疾病等傷害，特別是對氣喘、呼吸道疾病、心肺功能疾病的患者，老人及小孩敏感族群，影響尤大。細懸浮微粒依其微粒成份、性質，如含重金屬、持久性有機污染物，恐增添其毒性、毒害程度；又細懸浮微粒也會影響能見度（或視程、透光度），會影響太陽光穿透或反射程度，此因素對全球氣候變化將有所影響。至於微粒中的 SO_4^{-2} 、 NO_3^{-1} 是導致酸沉降的主要成份。因此細懸浮微粒對人體及環境的影響，甚為重要，普遍受到重視，爰需進行相關的研究及監測。

細懸浮微粒懸浮於大氣中、不會重力沉降（亦即其去除機制非經重力作用沉降去除）。細懸浮微粒有時被稱為氣膠（aerosol），包括了懸浮中的水份、液態微粒及固態微粒。其粒徑包括微米至奈米等級的微粒，粒徑的大小與其來源、形成方式有關，甚至是在變動中。除了原生性直接排出的微細粒子，如物理性研磨的水泥粉末，另有成核機制（nucleation）、積聚機制（accumulation）、凝結機制（condensation）、催化作用等，形成各種細微粒。

國際癌症研究所（IARC，屬世界衛生組織 WHO 轄下機構），經由慎重的研究後，於 103 年 10 月 17 日宣布，認定「戶外空氣污染」為屬「人類致癌物第一類」（carcinogenic to humans (Group 1)），這是最廣泛分布於環境中的「致癌污染物」。空氣污染中的最主要成分，是細懸浮微粒（PM2.5），而細懸浮微粒（PM2.5）亦被認定為屬人類致癌物第一類。在 2010 年的研究指出，估計全球有 22.3 萬人死於肺癌。IARC 表示，空氣污染及懸浮微粒濃度升高，肺癌風險亦隨之升高。在台灣，空氣污染仍是重要的環境問題，PM2.5 更是我們必須面對的嚴峻挑戰。

另值得一提的是，國際癌症研究所（IARC）亦曾於 2012 年 6 月 12 日宣布，專家們已獲得「令人信服」的科學證據，把含 PM2.5、原先列屬「疑似」致癌物質（2A 組）的「柴油引擎廢氣」，改列為屬「具充份證據」的「人類致癌物第一類」（1A 組）。世衛組織專家表示，柴油廢氣會導致肺癌，與潛在致命的石棉、砷和芥子氣同屬一類，呼籲人們儘可能地減少接觸柴油廢氣。

由台灣環保署的監測資料，空氣污染物中的臭氧及懸浮微粒，常常未能符合「空氣品質標準」；有些地方更有當地的、局部的環境空氣污染問題，如高雄地區，由工業引起的污染；

如台中地區，受全世界最大的火力電廠（台電的台中燃煤火力電廠）及當地煉鋼廠等的影響，空氣品質逐漸劣化；如雲林麥寮的六輕工業區排放，引起雲嘉南地區大區域性的空氣品質不良。

目前台灣的各种空氣污染物，雖皆已大幅降低，惟懸浮微粒及臭氧這兩種污染物仍未能降下來。環保署於民國 101 年 5 月 14 日才修訂「空氣品質標準」，把 PM2.5 納入，其標準值為： $15 \mu\text{g} / \text{m}^3$ （年平均值）， $35 \mu\text{g} / \text{m}^3$ （二十四小時值）。

PM2.5 監測

PM2.5 監測標準方法，依環保署環檢所公告，對空氣中細懸浮微粒（PM2.5）採手動檢測方法（NIEA A205.11C，101.04.30 修定），目前環保署已在全國各縣市計 30 個空氣品質監測站設置 PM2.5 手動採樣儀器，自 101 年 12 月開始進行每 3 日 1 次的連續 24 小時質量濃度採樣監測。該 30 個 PM2.5 人工測站的分布，係於每縣市設置 1 個站，每直轄市設 2 個站，及在北中南各設 1 個背景站（分別位於陽明山、三義、橋頭）。

對 PM2.5 監測，環保署自 94 年起即在其 76 個自動監測站裝設 PM10、PM2.5 之自動監測儀器，採用貝他射線衰減法原理，可呈現每小時 PM10、PM2.5 濃度值，102 年 1 月起環保署同時有手動（為標準方法，每三天才有一 24 hr 測值）及自動（每小時測值）監測之 PM2.5 濃度值。惟以手動及自動監測方法，因原理、儀器及自然環境因素等之差異及影響，測值並不相同，這造成很大的困擾，自動監測值不可直接用來與 PM2.5 空氣品質標準做比較。但環保署已建立兩者間的關聯性。人工／自動測值之比例，隨測站及濃度值而異，約在 0.5~1.0 間不等，先前環保署暫以 0.68 比例，把自動監測值轉換為「手動推估值」，呈現於該署網站上供參考。自動數據最重要是提供「預警」及「緊急應變」以反映空氣品質即時動態；以標準方法監測的手動測值（二十四小時值），每日僅測得一個值，且需經乾燥、秤重程序，約 10~20 天才能獲知測值，爰該人工測值僅用來評估空氣品質標準的符合度。

美國環保署於 1997 年 7 月訂定 PM2.5 的國家標準，標準規定連續三年的年平均值不得超過 $15 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ，連續三年的日平均濃度 98 百分位數值之平均值不得超過 $65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ 。於 2006 年美國環保署再次檢討修正 PM2.5 的國家標準，將 PM2.5 的 24 小時標準降為 $35 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ，以加強保護短期暴露風險。同時也取消了 PM10 的年平均標準（但是保留 PM10 的日平均標準，而長期暴露只以 PM2.5 為規範）。

PM2.5 是近十年來環境監測的一個新項目，其與健康風險頗有相關。環保署遲至民國 101 年 5 月 14 日才修訂「空氣品質標準」，把 PM2.5 納入，其標準值為： $15 \mu\text{g} / \text{m}^3$ （年平均值）， $35 \mu\text{g} / \text{m}^3$ （二十四小時值）。但尚無短時濃度限值，這在使用上有其不足，如對空氣品質在短時間內（如一天 24 小時內的變化情形）的濃度變化之預報、預警應變就難有其依據。又攸關空氣品質預警及成效的空氣品質指標，環保署目前仍使用 PSI 指標（空氣污染指標），其並非法定之指標，且沒包括最重要的 PM2.5 及 03-8hr 兩測項。立法院及社會各界多有要求環保署修正，改採類如美國的 AQI 指標系統。

PM2.5 的來源與成因

對 PM2.5 之管制，環保署於 103 年 5 月研擬公布「細懸浮微粒（PM2.5）管制計畫」草案，該文件包括各縣市之導致 PM2.5 之排放量資料。

PM2.5 依其來源性質可分為「原生性」或「衍生性」者。「原生性」者為直接由其排放源排出，如由電廠等燃燒設備排出微粒、飛灰、黑煙，由煉鋼廠等冶煉設備排出的煙煙、煙灰，由水泥廠排出的水泥灰，石灰廠、陶磁廠、瀝青拌合場等排出的煙灰；在交通排放源，有柴油引擎（包括大卡車、大客車、柴油火車頭、施工機械及柴油發電機組等）、機車排放的黑煙。至於較無害的來源，如風吹（道路、工地、農地、河床等）揚塵。自然界如海鹽，火山爆發也會噴出大量火山灰，也包括土壤揚塵。以上雖是屬原生性來源的排放，但各種來源成份（如化學成份及其毒性、吸濕性、散光或吸光反光性）、粒徑（或粒徑分佈）差很大，故其影響也是不同的。

另一類為「衍生性」細懸浮微粒，也就是微粒在傳輸、大氣擴散過程，經複雜的化學程序（包括光化作用，photochemical effect）而形成微粒。主要參與作用的有氣態的硫氧化物（SO_x）、氮氧化物（NO_x）、揮發性有機物（VOCs）、氨（NH₃）等。這些「衍生性」細懸浮微粒的前驅物，在大氣中已存在的細微粒及濕度因素下，經複雜的化學程序，形成硫酸鹽微粒、硝酸鹽微粒、黑碳微粒等。細懸浮微粒成份也包括土壤揚塵等地殼成份。為探討細微粒的特性及形成的成因、因素，環保署於 90 年至 100 年期間曾進行超級監測站（supersite station）的監測及研究。

依環保署資料，經以光化模式（等）模擬研究，可得出原生性與衍生性來源對各縣市 PM2.5 貢獻之比例。台中市的 PM2.5 係屬國內原生性者占 52%，國內衍生性者占 16%，另 33% 為境外傳入。國內衍生性 PM2.5 佔比較高者，為台中、南投以南各縣市，如南投縣占 22%、雲林縣占 18%、嘉義縣占 22%、嘉義市占 25%、台南市占 26%、高雄市占 32%、屏東縣占 34%，越往南比例越高；這顯示出中部以南大排放源（如台中火力電廠、雲林六輕烯烴廠等）往南飄送的區域性影響。

對境外傳入的貢獻，這些者主要來自中國地區的污染傳過來、飄送到台灣，這些是我們無法努力控制的，而為中國所牽拖、為中國所禍害。台灣身受中國所害，此為一例。據環保署估計，境外傳入的貢獻約占 30~50% 或以上，各縣市比例不大一樣，如基隆市，外來傳輸占 63%，金門、馬祖更超過 90%。台中市的境外傳入的貢獻比例，約為 33%。

一般而言，對 PM2.5 來源或形成的貢獻，衍生性的貢獻比例遠大於原生性，衍生性細懸浮微粒是 SO₂、NO_x、VOCs、NH₃ 等氣態前驅物在大氣中經過複雜的化學反應，其反應過程包括氣相光化學反應、液相反應與氣固相反應與不同反應物間之競合作用等而生成。細懸浮微粒與前驅物排放量間有顯著的非線性關係，這也使得 PM2.5 的管制頗為困難、不易。

PM2.5 的成份特性

相關研究指出，PM2.5 的主要成份為硫酸鹽 (SO_4^{-2})、硝酸鹽 (NO_3^{-1})、氨鹽 (NH_4^{+1})、有機碳 (OC)、無機碳 (EC，又稱元素碳) 等，但以硫酸鹽 (SO_4^{-2})、有機碳 (OC) 所占比例最高，組成比例依地方而變化不同。如都市地區硝酸鹽 (NO_3^{-1})、氨鹽 (NH_4^{+1}) 濃度較郊區為高，對於 EC，都市濃度明顯高於郊區。OC 與 EC 之比值由北向南遞增。對於非海鹽之硫酸鹽 (nss-SO_4^{-2})，除了受當地污染來源影響外，可能來自於長程傳輸由境外傳入。經環保署超級測站的多年研究，台灣的 PM2.5 微粒之成份，高屏地區細粒徑微粒 (PM2.5) 的主要化學成分以硫酸鹽占 27% 最高，其次為有機碳 23%、硝酸鹽 14% 及元素碳 6%。至於台北超級測站 PM2.5 則以硫酸鹽占 29% 最高，其次為有機碳占 20%、硝酸鹽占 5% 及元素碳占 6%。南部與北部均以硫酸鹽占 PM2.5 最大比例，可能受到中國工業污染排放 SO_2 影響，這類境外硫酸鹽長程傳輸對我國的衝擊不能忽略。 NO_x 為硝酸鹽的前驅物，南部空氣中 NO_x 濃度低於北部，但是 PM2.5 硝酸鹽卻高於北部，顯示南部空氣中氨氣的影響。氨氣濃度有助於 PM2.5 硝酸鹽的形成，這些都是未來污染管制的重要考量。

從高濃度 PM10 事件日期間的分析，PM2.5 濃度約有 80% 來自衍生性微粒，20% 來自污染源直接排放，顯示衍生性微粒前驅物排放管制在微粒污染管制的重要性。經模式模擬研究，我國 39% 硫酸根濕沉降及 37% 硝酸根濕沉降為外來移入。

細懸浮微粒濃度有地區性 (如北、中、南、東地區、外島) 的差異、變化，時間向度上 (逐年，乃至於四季或月份) 的變化，如圖 6。PM2.5 以春季及冬季濃度較高，其中以十月、三月最高。入夏以後西南氣流旺盛，濃度降低，空氣品質較佳，於六至八月時最佳。PM2.5 濃度自十月至隔年三月期間濃度高、空氣品質差。秋末及冬季主要受東北季風影響，這種氣候下會因中國的空氣污染物經氣流傳送進台灣，帶來空氣污染。視狀況，每年於十一月至隔年五月期間 (三月尤盛) 有中國沙塵暴，影響韓、日及台灣，形成短時超高濃度事件。南部地區的季節性變化較北部為明顯。至於 PM2.5 的一日內變化，可觀察到其與臭氧的高起或所謂光化學活性高時有連帶關係，如當臭氧濃度於中午、下午高起逾 120ppb 時，衍生性 PM2.5 濃度也隨而高起。

至於氨氣的影響，其有高反應性，易與硫氧化物、氮氧化物生成硫酸氨、硝酸氨鹽類微粒，形成有顏色、具吸光性的氣膠。台灣的氨濃度約在 10ppb 上下，最高可達 50ppb 濃度，中、南部地區有農業排放，北部都市地區則有下水道污水系統的排放，都會促成衍生性污染物、細懸浮微粒的形成。

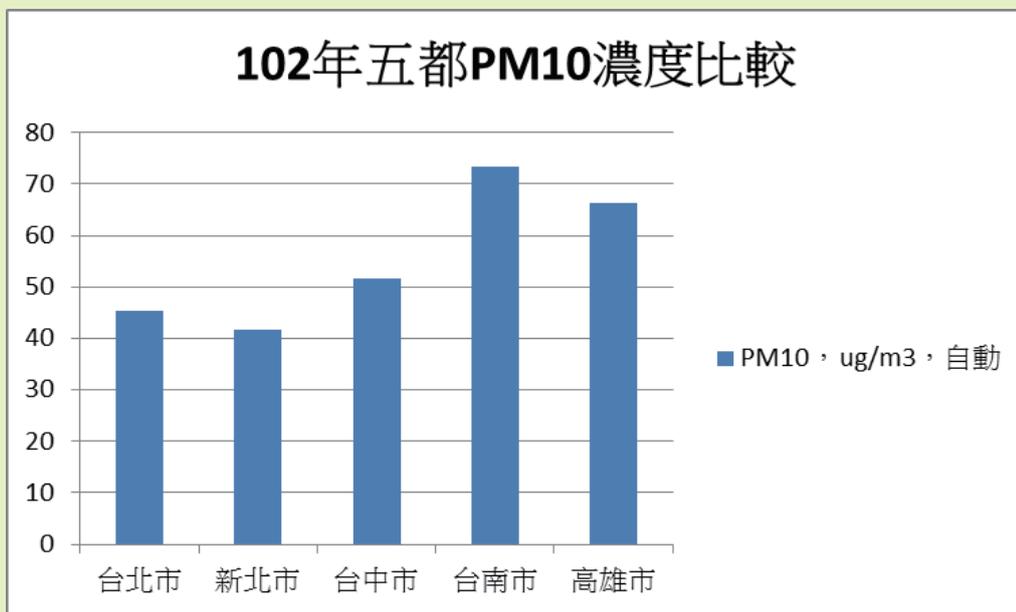
在微粒成分分析方面，由北部及南部微粒超級測站歷年之統計結果，顯示 PM2.5 占 PM10 之比例約為 67%，PM2.5 中之成分以硫酸鹽，約占 29% 最高，其次為有機碳約 27% 不等。由於硫酸氨主要來自本地排放源與長程傳輸污染，而有機物含量則為本地原生與衍生污染物的雙重影響；至於硝酸氨、元素碳則與本地污染關係密切。

台灣的 PM2.5 濃度狀況

對粒狀物的測定，包括有落塵（Dust fall）、總懸浮微粒（TSP），對於較細的粒狀物，則以 PM10、PM2.5 來測定，並訂定各項標準。就「102 年空氣品質年報」，各縣市中仍有嘉義縣、嘉義市、台南市、高雄市、及金門縣 PM10 仍未能符合標準（PM10 年平均 $>65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ），又以嘉義縣最高、嚴重，雲林縣及彰化縣之 PM10 年平均也是介於 $60\sim 65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ 間。至於 PM2.5，觀 102 年各縣市 PM2.5 濃度之監測結果，全台各縣市只有花蓮縣、台東縣可符合標準，餘皆不符標準，最嚴重的縣市為雲林縣，PM2.5 年平均達 $34 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ，為標準的 2.3 倍。各縣市中 PM2.5 年平均達 $30 \mu\text{g} / \text{m}^3$ （標準的 2 倍）以上的，有雲林縣、嘉義市（ $33.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ）、屏東縣（ $33.6 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ）、台南市（ $31.1 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ）、高雄市（ $30.7 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ）、南投縣（ $30.2 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ）及金門縣（ $33.1 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ），可謂台灣西部的雲嘉南高屏地區，其 PM2.5 濃度都在標準的 2 倍以上，情形不可謂不嚴重。觀察台中市，PM2.5 年平均達 $25.7 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ，彰化縣 $28.2 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ，嘉義縣 $29.4 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ，可謂中南部全部淪陷於 PM2.5 濃度達 $25 \mu\text{g} / \text{m}^3$ （標準的 1.7 倍）以上的範圍。這些地區的人口全部都處在更高的空污罹癌風險中。

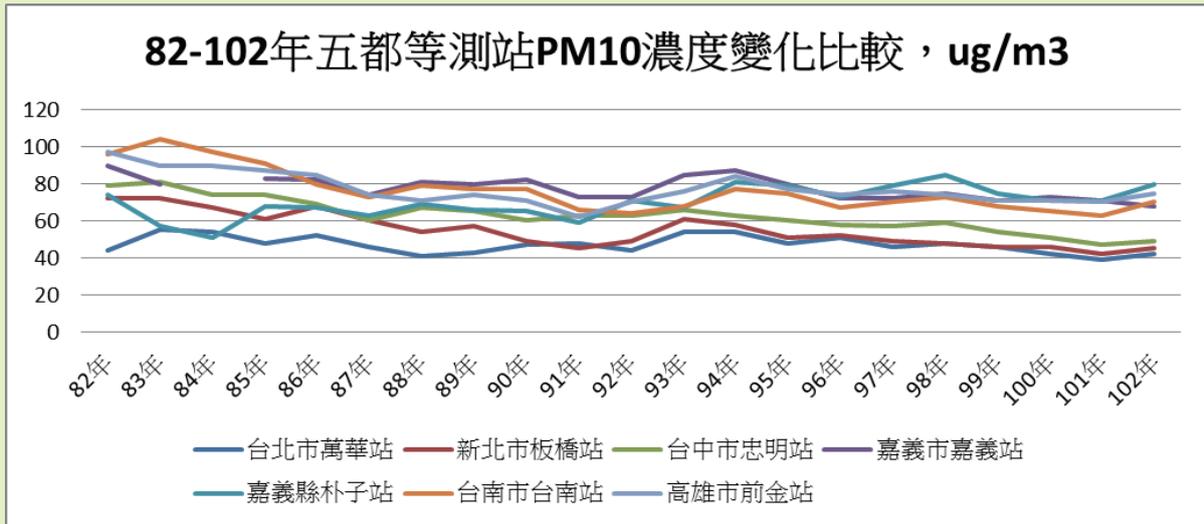
至於 102 年五都的 PM10 濃度比較，參見圖 1，台南市呈最嚴重，台中市居中、排第三。

圖 1



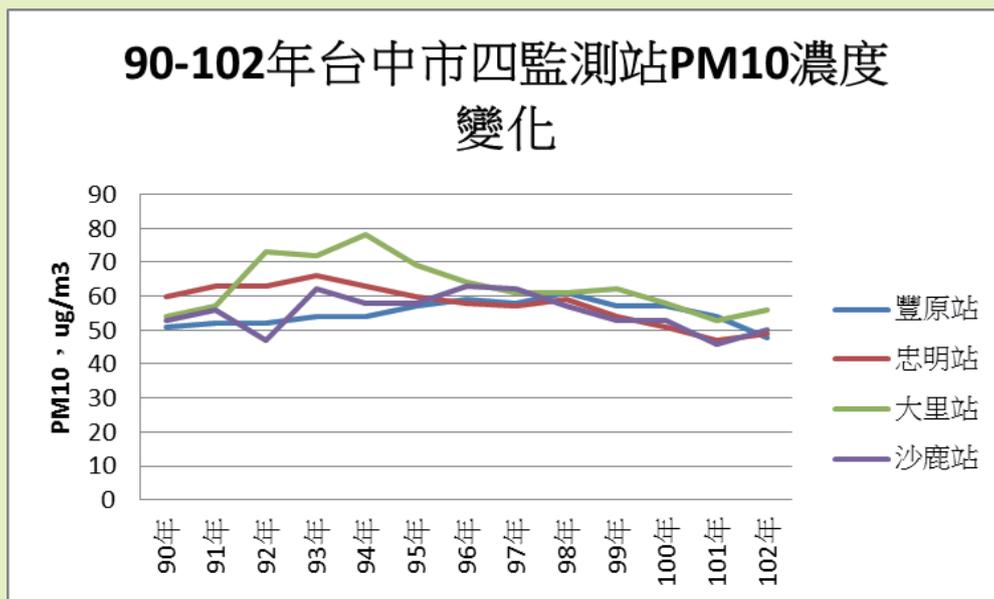
觀察歷年來五都等（含嘉義市、縣）測站的 PM10 濃度變化，參見圖 2，大致上濃度逐年降低，但 100 年至 102 年期間無改善或似有惡化。南部都市較北部都市測站 PM10 濃度為高。南部地區形成大區域性的不良狀態。

圖 2



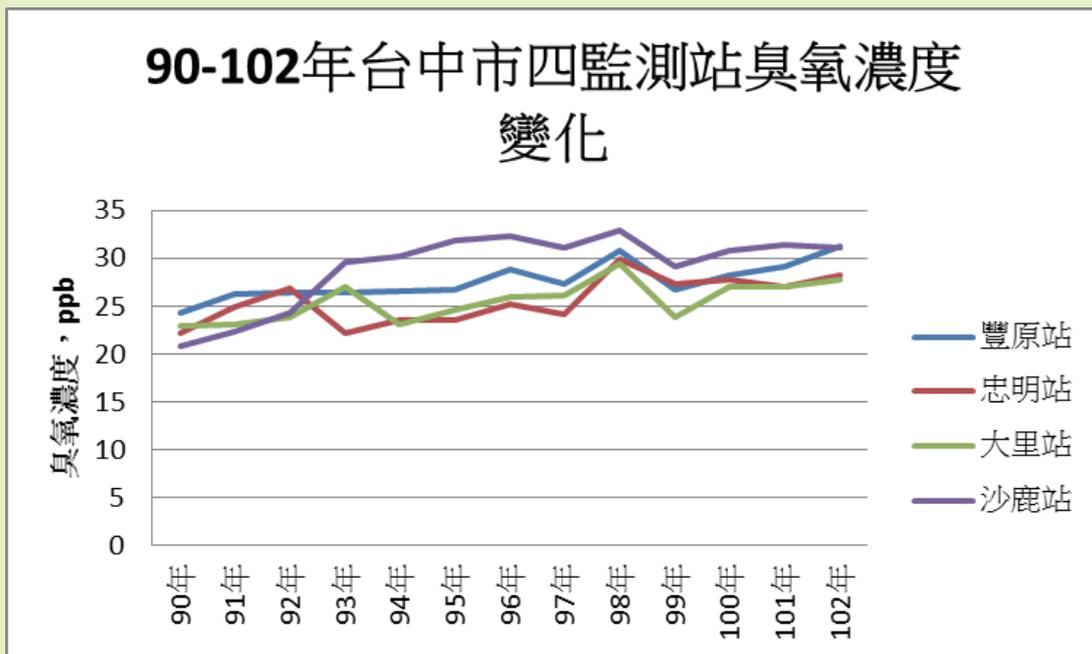
參見圖 3，觀察 90 年至 102 年台中市四監測站之 PM10 濃度變化，趨勢上先變惡化，而後大里站、忠明站呈現逐年降低，但沙鹿站、豐原站幾無變化、或無改善。至 101 年至 102 年沒轉好，反稍劣化。

圖 3



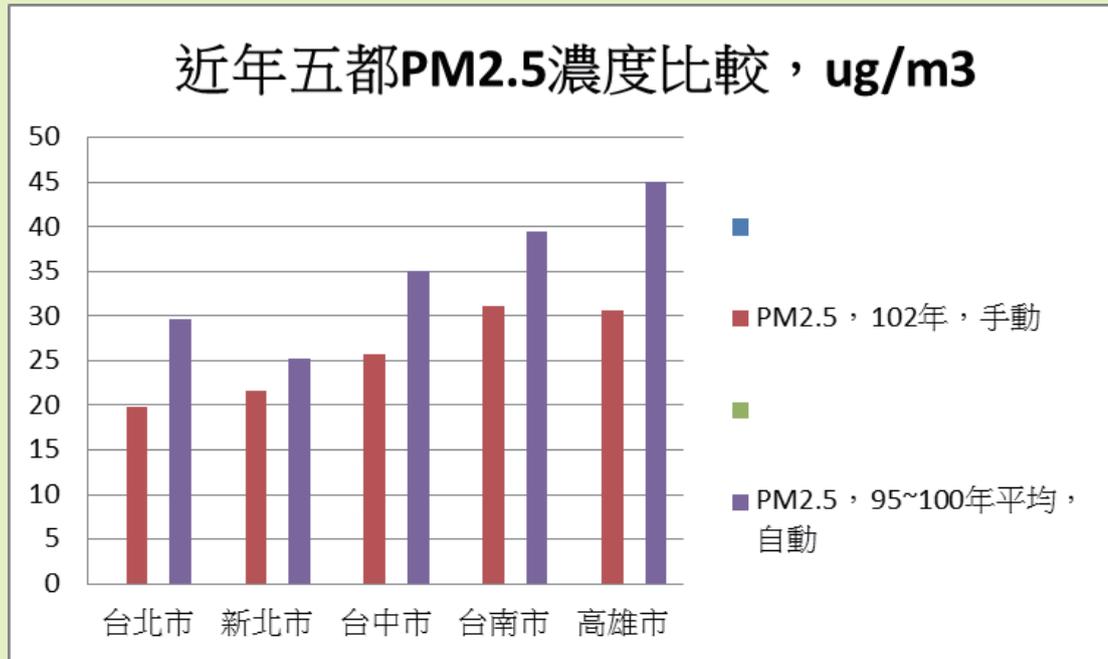
參見圖 4，為台中市四監測站 90 年至 102 年臭氧的變化，可看出來台中市臭氧濃度是逐漸惡化的。

圖 4



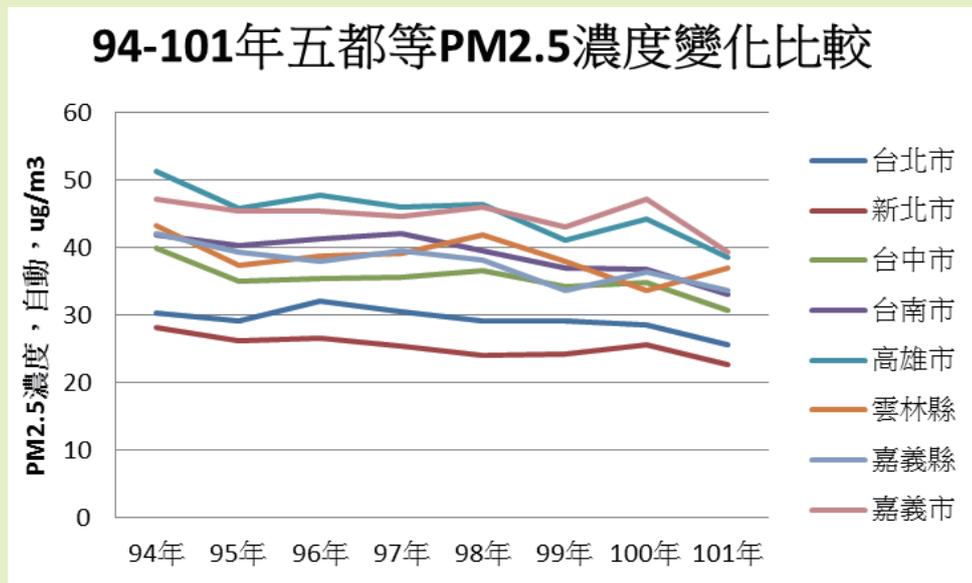
再來，關切五都的 PM2.5 的變化，參見圖 5，PM2.5 濃度 102 年度由高到低依序為高雄市、台南市、台中市、新北市、台北市，且都超過 PM2.5 的年平均標準（15 ug/m³）。由長年（95~100 年）平均對 102 年的濃度差異，高雄市與台北市有較大的改善程度。

圖 5



觀察圖 6，94 年至 101 年五都及雲林縣、嘉義縣市 PM2.5 的濃度變化，似逐年降低，但 100 年時劣化，及 101 年雲林縣轉劣化。各都市濃度的高低，較佳者為新北市、台北市，台中市排第三，南部區域（雲、嘉、台南、高雄）縣市普遍不佳。（註：於 102 年期間時已開始以手動方法測定，因儀器方法不同，或需以相關公式轉換，於此暫略 102 年數據）

圖 6



台中市的空氣品質狀況

表 1 中顯示 102 年五都之 PM2.5 年平均濃度，台中市之 PM2.5（就豐原及忠明測站所測）年平均濃度，為 25.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，此為標準的 1.7 倍。就五都來比較，由低至高依序為台北市、新北市、台中市、高雄市、台南市，台中市居間排第三，且由北向南轉劣化。台南市在五都中 PM2.5 是最高，但也可說高雄市、台南市相近。

表 1 102 年五都之 PM2.5 年平均濃度

	台北市	新北市	台中市	臺南市	高雄市
PM2.5 年平均濃度	19.8	21.7	25.7	31.2	30.7
監測站所測濃度	士林 18.8 萬華 20.7 陽明 11.2	汐止 20.6 板橋 22.7	豐原 24.0 忠明 27.4	新營 31.5 臺南 30.8	美濃 28.2 前金 33.2

註：測值為人工採樣秤重法，單位為 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。空氣品質標準 PM2.5 年平均值為 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。資料來源：環保署，102 年空氣品質年報。

表 2 顯示 102 年五都之空氣中污染物（SO₂、NO₂、O₃）濃度（年平均）的狀況。對 SO₂，狀況大致如 PM2.5，由低至高依序為台北市、台中市、新北市、台南市、高雄市，台中市居第二，大致上由北向南轉趨劣化。至於 NO₂，則反是，台北市因交通排放故是最高的，高雄市因工業排放居第二，餘新北市、台中市、台南市濃度相接近。對臭氧問題，以 03-8hr 來看，以中、南部較北部嚴重，台中市居五都的第三，台中市、台南市、高雄市都接近年標準（60 ppb）的八成水準。

表 2 102 年五都之空氣中污染物濃度（年平均）

污染物年平均濃度	台北市	新北市	台中市	臺南市	高雄市
SO ₂ (ppb, 年標準為 30 ppb)	3.0	3.4	3.1	3.6	5.2
NO ₂ (ppb, 年標準為 50 ppb)	21.5	16.1	15.9	14.0	17.4
臭氧 (ppb, 年標準為 120 ppb)	25.0	29.5	29.3	30.8	29.6
臭氧 (8 hr, ppb; 年標準為 60 ppb)	38.4	44.2	48.4	51.0	51.6

參見表 3，至於 102 年台中市五個監測站空氣中污染物濃度（年平均），豐原、沙鹿、大里、忠明、西屯四個監測站中，SO₂ 以豐原較嚴重，NO₂ 以大里、忠明較嚴重，03-8hr 以大里較嚴重。台中市顯示有都會污染的狀況，及因交通（等）而致 NO₂、O₃ 趨於嚴重情形。

表 3 102 年台中市地區監測站空氣中污染物濃度（年平均）

污染物濃度（年平均）	豐原	沙鹿	大里	忠明	西屯
SO ₂ (ppb, 年標準為 30 ppb)	3.8	3.1	3.1	3.0	2.8
NO ₂ (ppb, 年標準為 50 ppb)	10.1	14.1	19.3	19.5	16.2
臭氧 (ppb; 年標準為 120 ppb)	30.6	31.1	27.8	28.2	28.8
臭氧年平均濃度 (8 hr, ppb; 年標準為 60 ppb)	48.8	46.8	50.9	47.8	47.8

結論

台灣的 PM2.5 濃度狀況，全國各縣市只有花蓮縣、台東縣可符合標準，餘各縣市皆不符合標準，最嚴重的縣市為雲林縣，PM2.5 年平均達 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為標準的 2.3 倍。各縣市中 PM2.5 年平均達 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （標準的 2 倍）以上的，有雲林縣、嘉義市（33.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、屏東縣（33.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、台南市（31.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、高雄市（30.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、南投縣（30.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）及金門縣（33.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），可謂台灣西部的雲嘉南高屏地區全部淪陷。大致而言，自南投縣、台中市以南的西部地區，PM2.5 濃度達 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （標準的 1.7 倍）以上，這些範圍地區的人口全部都處在更高的空污罹癌風險中。

台中市的空氣品質，不論是 PM10、PM2.5、SO₂、NO_x、O₃，相對的在五都之中居間、排第三，也就是台北市、新北市較佳，自台中市往南則呈現大區域的不良狀態。又由環保署監測資料，全台的臭氧問題趨於惡化，此問題與 PM2.5 的劣化，在排放源及形成機制上相互呼應。

歷年來，PM10 雖逐漸緩慢降低，但近二、三年拉平、沒再下降。PM2.5 濃度似有一點點小改善，但仍尚遠高於保護人體的「標準」的 1.7 倍以上；中南部大區域全部在不良狀態，似顯示了大排放源，如台中火力電廠、六輕工業區及台南、高雄各大排放源的綜合影響；且由於各排放源排放量的巨大、及使用高煙囪，以光化作用機制模擬，搭配監測資料的趨勢，可觀察到其影響是顯著的、大區域性的。

由於 PM2.5 影響國民健康深遠，建議政府應採取更積極有效、更急迫的作法，控制 PM2.5 污染問題。且需改進 PSI 指標系統為 AQI 指標系統，以反映實際空氣品質狀況及做為緊急應變之依據。並須關注中國工業污染的跨境傳輸、影響台灣空氣品質課題。

第二場：PM2.5 的健康危害

主持人：葉光芃／彰化縣醫療界聯盟彰基醫院婦產科主治醫師

主講人：鄭尊仁／臺大公衛學院職衛所 教授



台灣的空汙汙染情形嚴重，特別是PM2.5超過國際標準甚多，為了保護大眾健康，台灣在2012年公佈PM2.5的空氣品質標準，台中地區近年來空氣品質惡化，跟南部地區同為汙染嚴重地區，是三級空氣汙染防制區。今天的研討會就是大家一起來努力，尋求有效方法，降低大氣PM2.5濃度。這篇論文主要是回顧PM2.5空氣汙染健康效應，提供研討會背景資料。論文主要內容如下：

1. PM2.5 有沒有健康危害？
2. PM2.5 健康危害為何？
3. 目前PM2.5 大氣濃度的健康危害為何？
4. 如何預防PM2.5 健康危害？

1. PM2.5 有沒有健康危害？

PM2.5 的健康危害在科學上是確定的，WHO，美國及歐盟都已確定PM2.5 的危害，所以都訂有PM2.5 的法規及建議標準。法規制定需要科學證據支持，包括流行病學及毒理學研究，流行病學研究是人類的觀察研究，比較直接，不過有些干擾因子不容易控制，毒理學研究可以進一步支持因果關係。

早期空氣汙染事件最出名的就是倫敦空氣汙染事件，1952年冬天，嚴重的空氣汙染事件，能見度變差，連白天都需要開燈，幾天內估計至少有四千人死亡，十年後，另一波空氣汙染事件造成許多死亡。同樣的在美國鋼鐵小城，也因為空氣汙染短時間內造成許多死亡，這個事件被美國流行病學家Debra Davis寫成一本書，描述她小時候看到的空汙情形。因為這些事件，美國及英國開始重視空氣汙染問題，通過空氣清淨法案，所以空氣汙染的濃度逐漸降低。日本二次大戰後工業發展迅速，也造成許多空氣汙染，例如四日市呼吸道事件。

當空氣汙染濃度逐漸降低時，急性空氣汙染事件導致的死亡或是罹病，就不容易觀察到，這時候流行病學研究就很重要，許多流行病學研究發現，不僅呼吸道疾病跟空氣汙染有關，心血管疾病也有相關，但是空氣汙染如何讓心血管疾病發生？

流行病學的小組研究發現微粒汙染與心跳血壓，心率不整，還有自律神經對心血管的作用有關，通常流行病學必須從研究設計或是統計分析來控制干擾因子，但是流行病學通常只能做到相關性的判定，因果關係的證實比較困難，所以必須仰賴動物試驗。我們曾經做過一系列研究，發現微粒空氣汙染會導致心跳血壓上升，改變自律神經對心臟的作用。

在心血管疾病中，心肌梗塞是最重要的疾病，心肌梗塞是心臟冠狀動脈阻塞，引起心肌壞死，流行病學也發現心肌梗塞與空氣汙染有關，但是缺乏動物試驗證實，實驗用老鼠不容易發生動脈硬化，因為有很高的HDL，也就是好的膽固醇，紐約大學教授使用具特殊基因處理的小鼠，容易發生動脈硬化，發現暴露濃縮空氣微粒後，這些老鼠的動脈硬化嚴重，斑塊幾乎將動脈內徑阻塞，這些研究提供因果關係的解釋。

2. PM2.5 常見健康危害為何？

PM2.5 空氣污染可以造成全身性疾病。目前確定的是呼吸道及心血管疾病例如心肌梗塞，腦血管疾病，還有肺癌，其他目前已經有報告，但是有待進一步確認的疾病，包括代謝症候群，糖尿病，神經系統及行為疾病，腎臟病，還有生殖系統疾病。

關於 PM2.5 健康效應，目前證據清楚的是呼吸道及心血管疾病。呼吸道疾病包括氣喘，慢性阻塞性肺病，呼吸道感染等，氣喘常見於小孩。2013 年 WHO 癌症研究中心 (IARC)

PM2.5 及空氣污染歸為人類致癌物。心血管疾病包括心肌梗塞，心臟衰竭，心率不整，還有腦血管疾病。冠狀動脈及腦血管都是大血管，但是小血管也會受 PM2.5 影響。最近研究發現與小血管有關的腎臟疾病，或是視網膜動脈也可能會受到 PM2.5 影響。

肥胖及代謝症候群及糖尿病是目前重要公共衛生問題，研究顯示 PM2.5 空氣污染會增加身體質量指數，也會增加胰島素阻抗，最後導致糖尿病的發生。另外，胎兒時暴露 PM2.5 可能與早產或是出生體重不足有關。也有報告指出母親懷孕時，較高的 PM2.5 與血壓升高或是子癆有關。

最近有報告指出中樞神經的退化性疾病與 PM2.5 有關，例如巴金森疾病，失智症等。有些心身疾病例如自閉症，或是憂鬱等，有報告指出跟 PM2.5 空氣污染可能有關係。最近還有研究發現新生兒時期 PM2.5 的暴露，會影響中樞神經發展。

3. 目前 PM2.5 大氣濃度的健康效應為何？

最近英國著名醫學期刊 Lancet 發表各國疾病及危險因子的比較統計，PM2.5 空氣污染每年可造成三百萬人死亡，在臺灣及世界的死亡排名第七，是很重要的危險因子。

目前研究發現 PM2.5 健康危害沒有閾值，根據歐盟最近的研究，發現在 WHO 指標每立方公尺 10 微克以下，都還有健康效應，加拿大 PM2.5 平均約每立方公尺 8 微克，也還可以觀察到健康效應。通常非癌症的健康危害，都會有個閾值，在這個濃度之下就不會有危害，目前 WHO 採用嚴格標準，但是研究顯示在這個數值之下，還是有健康效應。之前美國癌症學會世代研究顯示 PM2.5 每立方公尺增加 10 微克，死亡會增加 4%，其中心肺疾病約 6%，而肺癌約 8%。哈佛的六個城市研究發現 PM2.5 危害更大。根據 2012 年美國華盛頓大學健康劑量及評估研究所 (IHME)，在 Lancet 發表各個國家疾病及危險因子的比較統計，PM2.5 空氣污染每年可造成數百萬人死亡，在臺灣及世界的死亡排名第七，除了個人生活習慣以外，PM2.5 是最重要的危險因子。另外，空氣污染每年可造成 22 萬人因為肺癌而死亡。

4. 如何預防 PM2.5 引起的健康危害

要預防 PM2.5 健康危害，最重要的就是降低污染，但是在沒有降低之前要如何保護自己，要特別注意防範的就是易感性族群。

易感性族群，例如小孩老人，或是有呼吸道及心血管疾病的人要特別小心，特別是污染嚴重時，不要在戶外活動或是作運動，通常戴口罩並不是很有效。空氣濃度除了隨著本地污染源及氣象條件改變，境外傳輸對於高濃度汙染事件扮演重要角色，例如中國霾害會影響到臺灣空氣品質，現在教育部正研擬空污假，也是因應 PM2.5 空氣污染問題。有關空氣污染的預測很重要，通常空氣污染指標使用 PSI，但是 PSI 並沒有考量 PM2.5，應該趕快制定包含 PM2.5 的 AQI。

結論：PM2.5 造成的健康危害已經確立，比較明確的是心肺疾病及肺癌，最近有許多報告指出 PM2.5 可能跟其他疾病有關，例如糖尿病及中樞神經系統退化性疾病。目前台灣 PM2.5 濃度偏高，特別是中南部更嚴重，易感性民眾要特別注意防護。在管制 PM2.5 方面，除了積極減量外，應尋求產業轉型，有效降低 PM2.5 濃度，保護民眾健康。

第三場：PM2.5 的防治與減量

主持人：陳炳煌／東海大學環工教授

主講人：林文印／看守台灣協會 常務理事、
台北科技大學環境規劃與管理研究所 教授

細

懸浮微粒 (PM_{2.5}) 指粒徑小於 2.5 微米之氣膠，依微粒生成可分為原生性氣膠 (Primary Aerosol) 及衍生性氣膠 (Secondary Aerosol)。原生性氣膠指該懸浮微粒主要是物理破碎或污染排放所產生的粒狀物，除燃燒產生外，因主要為物理作用，粒徑較大。例如：海鹽飛沫、道路揚塵、裸露地揚塵、沙塵暴、營建工地逸散、發電機及鍋爐燃燒、機動車輛排放、露天燃燒、火山爆發、自然風化微粒、建材行業板材、石材切割等。若這些原生性污染物經大氣化學作用，生成懸浮微粒即稱為衍生性氣膠，包含光化學反應及異相反應 (氣 - 固、氣 - 液、液 - 固)，主要是前驅物質如氮氧化物、硫氧化物、氨氣、揮發性有機物等，反應生成硝酸鹽、硫酸鹽、銨鹽及衍生性有機碳等衍生性氣膠，因其主要受化學反應形成，使生成較小粒徑之微粒。

依來源則可分為當地 (local)、跨空品區及境外傳輸 (regional)，原生性污染主要來自於當地，衍生性污染則部分來自當地，多數來自跨空品區及境外傳輸。依台灣 2010 年公布的空氣污染物排放清冊 (Taiwan Emission Data System, TEDS) 8.1，細懸浮微粒污染源包括工業、車輛、營建 / 道路揚塵、商業活動及露天燃燒；硫氧化物污染源則主要為工業及非道路運輸；氮氧化物污染源主要為工業、車輛及非公路運輸。境外移入則主要有中國的沙塵暴及霾害，以及東南亞的生質燃燒。以台中市為例，臺中市國內原生性污染源貢獻達 52%、衍生性貢獻 16%，而境外傳輸則以衍生性為主，貢獻比率達 33%。

細懸浮微粒管制可從減少原生性細懸浮微粒及衍生污染物之前驅物，如硫氧化物、氮氧化物、揮發性有機物與氨等排放量著手。重點可概分為固定污染源管制、移動污染源控制、逸散源減量及督導地方政府推動空氣品質維護改善工作等。

不管污染源為何者，首先要建立空氣品質標準，作為評斷空氣品質狀況之依據，配合空氣品質監測網絡，反應即時的空氣品質概況，而改善空氣品質策略首先是訂定總量管制計畫，對於劃定管制區域中不符合標準的空氣污染物，進行總容許排放量的限制措施，包含固定污染源、移動污染源及逸散污染源的管制。

固定污染源指無法因本身動力而改變位置之污染源，基本上逸散源亦屬於固定源之一，但為區分是否具備可控管之排放管道，此處將固定源管制侷限在具備排放管道之污染源。而其管制措施從最上層的總量管制做起，可藉由排放管道管制措施建立排放資訊，統計各行各業及各種類型排放源之排放強度，進而針對既存污染源進行排放管制，而新設污染源則著重在落實最佳可行控制技術、評估排放不得超過容許增量限值並進行空氣品質衝擊分析；排放管道管制主要針對發電程序、鋼鐵業燒結工場、鋼鐵冶鍊、鍋爐蒸氣產生程序、水泥製造程序、玻璃製造程序及石化製程等污染源，加嚴管制及排放標準，削減粒狀污染物、硫氧化物及氮氧化物排放量。而有機物管制則是針對石化製程、化工製程、加油站、膠帶製造，半導體製造、光電材料及元件製造、合成皮製造、表面塗裝及乾洗作業，加嚴管制及排放標準，削減揮發性有機物排放量；建立排放許可制度，藉由許可制度的推動，可掌握全國固定污染源 80% 以上的粒狀污染物 (營建工程、道路揚塵逸散除外)、95% 以上的硫氧化物及氮氧化物與 75% 以上之揮發性有機物排放量。未來可執行，一、全廠污染源納入許可管理制度；二、整合性排放量管理制度推動；三、強化許可稽查管制作業；此外，依這些污染統計建立

排放清冊，統計各種污染源的排放量，藉此提供政府管制各種排放管道污染排放參考，例如加嚴排放標準、總量管制限制加嚴、限縮排放許可、強化許可稽查管制作業等，並建議廠商提出改善措施，推動固定污染源最佳可行控制技術，進一步控制污染排放。

相對於固定源管制的即為移動源，泛指移動的污染排放，包含汽機車、輪船、火車所排放之污染物，主要有懸浮微粒 (PM)、一氧化碳 (CO)、碳氫化合物 (HC)、氮氧化物 (NO_x)、鉛 (Pb)、硫氧化物 (SO_x) 等。總量管制同樣有包含移動源管制，主要藉由加嚴排放標準可促使車商提高燃燒效率、降低車輛污染排放，並利用新車型式認證及抽驗主要對新車進行抽樣測試，使高污染排放量的車輛不致流入市場中。而舊車則是需要定期檢查，不合格者進行修理或加裝處理設備，無法修理則強制淘汰，此外，關於二行程高污染車輛，可利用加嚴標準及獎勵制度淘汰二行程機車。當然，影響移動車輛的排放還跟燃料有關，因此，可利用制定燃油油品標準，如限用無鉛汽油或低硫柴油標準等進而改善排放。

再來則是針對逸散源管制措施，逸散源指沒有設置排放管道及處理設備，直接將粒狀污染物排放於大氣中之物理或化學操作單元，包括排放粒狀污染物之工廠製程作業（建材切割業、噴塗業）、車輛行駛（道路揚塵）、產生粉塵之營建工程施工、裸露地（收割農地）、露天燃燒、油煙及農業操作等。工廠、工地、礦場等逸散源主要納入排放許可制度中管制，以限制排放；另外如道路揚塵，目前僅能要求承載砂石車輛增加覆蓋防塵設施，配合增加洗掃街次數來抑制道路揚塵；另一種常見的揚塵為河川揚塵，目前傾向設置鋪面以及灑水來抑制揚塵；而台灣常見的露天燃燒，如拜金燃燒、農業廢棄物燃燒等，目前主要以法規限制農業廢棄物露天燃燒，並提供集中燃燒處理的機制，以及拜香減燒或加裝污染防制設備，民俗活動則宣導改使用環保鞭炮替代傳統爆竹，但仍缺乏有效稽查，其次可將乾稻草資源化，或製成鋪面材減少裸露地揚塵；而台灣最大宗的逸散源要屬家庭及餐飲業燒烤油煙，目前餐飲業均受法規限制，需要加裝處理設備，然而，廣大的一般家庭烹飪油煙排放則是難以管制，目前則多宣導低溫少油、定期更換濾油棉及濾油杯網等；最後是住宅內燃燒設備，如燒木柴、壁爐、燒炭等行為，目前台灣較少此類排放，但可朝向推行使用電器產品減少燃料燃燒進行宣導。

除上述這些國內的污染源外，境外移入也佔有很重要的一部分，因此，與國外進行空氣品質管理技術交流，愈趨重要。在減少國內污染物排放量及降低長程傳輸之影響齊頭並進，才能達成空氣品質改善目標。

要因應各地方的污染成因及污染物排放情形不同，應該採取的減量措施也不相同。最後在這些策略下，我們有那些技術可以減少 PM_{2.5} 在大氣中的濃度呢。一般工廠可利用袋式集塵器、旋風集塵器、靜電集塵器等減少粒狀物在空氣中的濃度，而含有氮氧化物、硫氧化物、揮發性有機物、氨氮等成分之污染排放，則可利用洗滌塔、乾式排煙脫硫、半乾式洗滌塔、濕式排煙脫硫、選擇性觸媒還原 (SCR) 設備、選擇性無觸媒還原 (SNCR) 設備、低氮氧化物燃燒器、沸石轉爐、活性碳箱等，其中洗滌塔僅使用水洗去除硫氧化物及氮氧化物，未加入藥劑；乾式排煙脫硫、半乾式洗滌塔及濕式排煙脫硫為加入藥劑去除硫氧化物及氮氧化物。移動源則是改善燃燒引擎、添加後燃燒設計、裝設濾煙器及選擇性還原觸媒等方法，減少污染物質排放。

細懸浮微粒空氣品質對健康影響已成為國際間關注的管制議題，而其空氣品質標準的實施已將現有空氣品質管理工作帶向新的紀元，初期可由加嚴污染源管制及排放標準減少空氣污染物排放著手，後續則需擴及能源、交通、產業及農業等面向，以提供民眾更健康、空氣更清新的環境。

第四場：我國再生能源的發展潛力

主持人：蔡志宏／彰化秀傳紀念醫院外科主治醫師

主講人：李欣哲／工研院綠能與環境研究所副組長



PM2.5減量與相關技術研討會：搶救蒙塵的台灣文化之都 研討會

我國再生能源的發展潛力

李欣哲
工研院綠能所 產業發展推動組
2014/07/26



Copyright 2014 ITRI. 工業技術研究院

P.1

大綱

- 一. 前言
- 二. 太陽光電
- 三. 風力發電
- 四. 生質能
- 五. 地熱發電
- 六. 海洋能
- 七. 結語

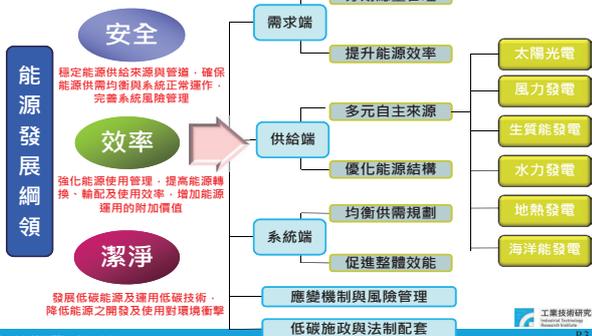


Copyright 2014 ITRI. 工業技術研究院

P.2

一、前言

我國能源政策



Copyright 2014 ITRI. 工業技術研究院

P.3

一、前言

我國為何需要發展再生能源

- 提高自主能源；促進能源多元化
利用風力、太陽能、水力等自然資源，達到自主與多元之能源供應
- 降低二氧化碳排放；減緩氣候暖化
利用再生能源發電或熱利用，可降低二氧化碳排放量
- 減緩對化石能源依賴；建構永續發展環境
發展再生能源可降低對化石能源之依賴度，減緩化石燃料短缺及價格波動之影響，有助建構永續發展環境



Copyright 2014 ITRI. 工業技術研究院

P.4

一、前言

◆我國發展再生能源之優勢

- 臺灣海峽為亞洲地區最佳離岸風場之一，可發展風力發電
- 位處亞熱帶，日照充足，可發展太陽光電及太陽熱能利用
- 農林廢棄物及沼氣利用，可作為生質能料源
- 降雨豐沛，可發展水力發電
- 處環太平洋火山地震帶，富含地熱能源
- 四周環海，具豐富海洋能源

◆我國發展再生能源須考量因素

- 再生能源宜為輔助電源：再生能源發電屬間歇性電源，例如風力年利用率28% (陸域) ~ 38% (離岸)、太陽光電14%
- 臺灣地狹人稠，土地資源有限
- 再生能源發電成本仍高：相較傳統能源發電，太陽光電、離岸風力、地熱、海洋能等發電成本仍高
- 需兼顧電網穩定度：我國電力網為獨立系統，再生能源電力占比逾20%時，須克服系統供電穩定問題



Copyright 2014 ITRI. 工業技術研究院

P.5

一、前言

「再生能源發展條例」概要



為推動再生能源發展，我國躉購制度主要以訂定**推廣目標**、**設立基金**、**躉購補貼**、**電業強制併聯與躉購義務**、依據不同再生能源類別訂定**合理報酬之躉購費率**等4項構面組成，為FIT制度核心架構



Copyright 2014 ITRI. 工業技術研究院

P.6

一、前言

擴大再生能源推廣

◆ 規劃原則



一、前言

擴大再生能源目標

- 自日本福島核災後，我國為提高能源供應之穩定及安全，並提高自主能源占比，馬總統前於2011年底「能源政策」記者會宣布全力推廣再生能源，累計至2030年我國再生能源發電裝置容量將達**12,502 MW**
- 為展現政府積極推動再生能源之決心與努力，經濟部現規劃以**13,750 MW**為目標量，較原規劃目標量提高**1,248 MW**

規劃再生能源擴大推廣目標裝置容量 (MW)

能源別	2015	2020	2025	2030
陸域風力	814	1,200	1,200	1,200
離岸風力	15	320	1,520	3,000
慣常水力	2,089	2,100	2,150	2,200
太陽光電	842	2,120	4,100	6,200
地熱能	4	66	150	200
生質能	745	768	813	950
合計	4,509	6,574	9,933	13,750

資料來源：經濟部能源局

二、太陽光電

我國潛能盤點

■ 臺灣太陽光電可開發潛能 6.2 GW

- 依行政院經濟建設委員會「國土復育策略方案暨行動計畫」，全臺土地總計有94,400公頃被劃分為全區嚴重地層下陷區，部分嚴重地層下陷區有36,600公頃，合計131,000公頃，考量相關限制因素，以開放4%土地面積(5,240公頃)，中長期估計可設置約3,200 MW地面型太陽光電，與屋頂型3,000 MW合計為6,200 MW

年度	2013	2014	2015	2020	2025	2030
規劃累計裝置容量 (MW)	392	602	842	2,120	4,100	6,200

高雄光電智慧社區「鳳山映美型」



圖片來源：工研院

高雄市大寮區區陽光社區



屏東社寮區陽光社區



二、太陽光電

我國推動現況

■ 太陽光電發電現況

- 截至2014年5月底累計裝置容量**416.3 MW**
- 推動多項計畫：Solar City、Solar Top、Solar Campus、偏遠離島緊急防災系統、農業示範應用、Solar Community、太陽光電FIT制度收購

■ 協助申設者-流程簡化 法規鬆綁

- 提高免競標至30 kW，開放承租戶無需競標，放寬個案上限容量至5 MW
- 放寬太陽光電發電設備至3公尺以下免雜照，增加空間運用彈性
- 推動建立太陽光電變流器、模組合格產品登錄制度，簡化審查作業

■ 推動PV-ESCO 辦理縣市經驗分享

- 導入太陽光電能源技術服務業PV-ESCO (Photovoltaic-Energy Service Companies)，降低設置者資金負擔

■ 建構融資環境，降低融資門檻

- 協助金融業者了解太陽光電系統，建立融資機制

二、太陽光電

面臨的挑戰

■ 屋頂型設置面臨之挑戰

- 一般住宅屋頂偏小，目前設置多屬廠房及農業設施屋頂，如何帶動一般屋頂設置？

■ 未來地面型設置面臨之挑戰

- 臺灣土地使用有限，且地目變更難度高

■ PV-ESCO商業模式

- PV-ESCO商業模式，多元資金來源？

二、太陽光電

未來開發策略

計畫目標-至2030年累積設置容量達到6,200 MW

推動策略-逐步擴大、先屋頂後地面

- 以電能躉購費率制度推動，引導各類建築設置

2011-2015年推動目標	2011	2012	2013	2014	2015
太陽光電(MW)	70	75 100	80 100 130 175	85 100 130 210	90 100 130 240

提高推動目標，以內需協助產業培植能量

至2014年5月達416.3MW裝置容量

累積推動目標與時程規劃	2010	2015	2020	2025	2030
太陽光電 (MW)	22	842	2,120	4,100	6,200

► 2014年度太陽光電申請設置熱烈

一次太陽光電躉購容量申請熱烈，2014年度目標由原150 MW，已於6月底全數達成

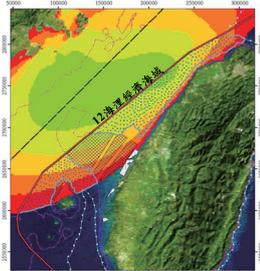
資料來源：經濟部能源局

三、風力發電

我國潛能盤點 (1/2)

■臺灣離岸風力可開發量15.2 GW

- 水深5-20 m (淺海)
 - 面積約177,920公頃
 - 初估潛能約9 GW
 - 初估可開發1.2 GW
- 水深20-50 m (深海)
 - 面積約654,700公頃
 - 初估潛能約48 GW
 - 初估可開發5 GW (以10%開發率初估)
- 水深50-100 m (深海)
 - 面積約1,195,400公頃
 - 初估潛能約90 GW
 - 初估可開發9 GW (以10%開發率初估)



資料來源：工研院

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P13

三、風力發電

我國潛能盤點 (2/2)

■臺灣陸域風力可開發量

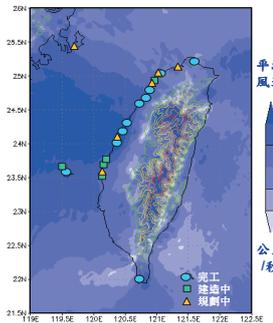
- 先開發優良風場，續開發次級風場作法；估計陸域風能可開發共1,200 MW



澎湖風力發電
設置容量：600 kWx8
資料來源：台電公司



大園及觀音鄉風力發電
設置容量：1.5 MWx20
資料來源：台電公司



資料來源：工研院

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P14

三、風力發電

我國推動現況

■陸域風力發電現況

- 截至2014年5月底總裝置容量為630.3 MW (商轉318 架)

■離岸風力發電現況

- 已有福海、海洋、台電等三家公司進行三個離岸風力發電示範案，經濟部能源局除對每家業者提供2.5億元的環評作業費等補助，並提供半額無息貸款

■目標

- 陸域風力2020年達1,200 MW
- 離岸風力2030年達3,000 MW

資料來源：工研院

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P15

三、風力發電

面臨的挑戰-離岸

- 行政法規面
 - 國防：禁限建區域、國防與海巡雷達干擾等問題
 - 航運：航道劃設、船隻碰撞等疑慮
 - 土地：海域管理、人工島嶼審查、測風塔申設等流程
- 工程技術面
 - 設備：抗颶風力機與耐震基礎
 - 規劃：風險評估與紓減對策研擬
 - 施工：海事工程技術與維運團隊建置
- 環境生態面
 - 自然環境：候鳥與海洋哺乳類影響
 - 人文環境：漁業補償、航運安全、以及港埠發展衝擊

資料來源：工研院

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P16

面臨的挑戰-陸域

- 民眾或公民團體抗爭
- 地方政府態度趨保守
- 優良風場土地趨緊，次級風場經濟誘因不足
- 環保法規趨於嚴格

三、風力發電

未來開發策略

■風能開發原則-先開發陸域風場，續開發離岸風場

- 陸域推動：先開發優良風場，續開發次級風場；2020 年前完成開發1.2 GW裝置容量
- 離岸示範：先推動於淺海區域 (20 公尺水深以內) 設置示範風場，目標2015 年完成 6 部示範機組商轉、2020 年完成 3 座示範風場商轉
- 離岸區塊：以示範計畫累積技術經驗，帶動經濟規模開發，逐步擴展至深海區域，至 2030 年達到 3 GW 裝置容量

■推動目標與時程



資料來源：經濟部能源局

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

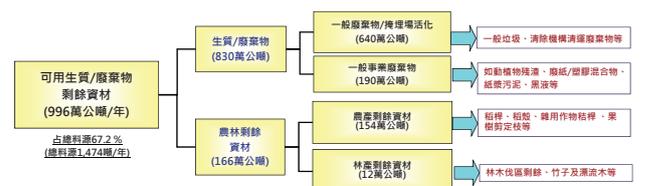
P17

四、生質能

我國潛能盤點

■我國生質/廢棄物能源熱電應用潛力

- 生質物/廢棄物來源：一般垃圾、一般事業廢棄物及農林剩餘資材等，總量每年約1,474萬公噸
- 每年可用生質物/廢棄物剩餘資材約996萬公噸 (約260.6萬 KLOE，約占2011年能源總供給1.9%)。若全用於發電約可供應1,336 MW機組燃料



資料來源：工研院

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P18

四、生質能

我國推動現況

■生質能熱電應用現況

- 截至2014年5月底，生質能總發電設置容量740.5 MW
 - 廢棄物能發電629.1 MW，含垃圾及廢熱發電
 - 生質能發電111.3 MW，含蔗渣、黑液及沼氣發電
- 「沼氣發電系統推廣計畫補助作業要點」於2013年1月公告施行，藉由補助縣市政府設置沼氣示範體系，建構分散料源集運機制及進行系統示範運行



▲垃圾焚化廠廢棄物發電

■生質燃料推動現況

- 2010年6月全面實施B2生質柴油，於各加油站供應B2生質柴油，B100年需求約10萬公秉，料源主要為廢食用油
- 2009年7月起推動臺北市及高雄市都會區公務機關適用車輛強制使用E3酒精汽油
- 考量未來可能涉及民眾行車安全、業者設施損耗，決定在維持推動生質燃料政策下，於103年5月5日暫停規範車輛義務使用生質柴油，改供應非車輛使用

▲臺北市山豬窟掩埋場沼氣發電



圖片來源：環保署

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

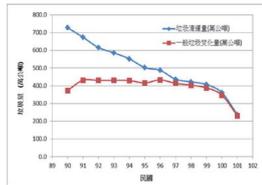
P-19

四、生質能

面臨的挑戰

■都市垃圾發電

- 未來垃圾量有逐漸減少趨勢
- 環保署規劃焚化廠轉型為「區域生質能源中心」，須發展先進技術提升發電效率



資料來源：環保署

■農工廢棄物發電

- 預估未來總量持平，因收集成本較高，利用率提高有限
- 需建立有效且具經濟效益之收集運儲機制，及先進燃料轉換技術

■沼氣發電

- 目前主要利用垃圾掩埋場沼氣，惟數量逐漸減少
- 未來以禽畜廢水、下水道污水等為推動方向

■運輸用生質燃料：料源不足、技術尚未產業化等

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P-20

四、生質能

未來開發策略

- 強化國內外料源供應，以擴大再生能源使用帶動產業發展
- 掌握關鍵技術，擴大料源與提升市場競爭力
- 政策推動與示範運行，塑造內需市場與建立產業發展基石
- 扶植國內企業，進軍國際市場

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P-21

五、地熱發電

我國潛能盤點

■我國地熱資源條件

- 世界陸地熱流平均值1.5 HFU，臺灣陸地熱流值大於2 HFU的範圍大於50% (Heat Flow Unit, 1 HFU=41.8 mW/m²)
- 臺灣地溫梯度>40°C/km的區域面積大於50%
- 除大屯火山區，大部分屬於中低溫地熱，適用雙循環發電及EGS技術
- 大屯火山區則有國家公園土地與酸性腐蝕問題
- 根據初步評估，淺層地熱發電潛能約730 MW；深層地熱發電潛能超過30,000 MW



資料來源：工研院

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P-22

五、地熱發電

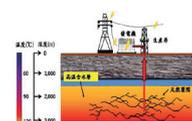
我國推動現況

■地熱發電應用現況

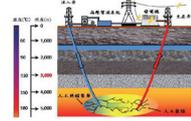
- 2012年12月於宜蘭清水地區建置自主技術之50 kW地熱增強型雙循環發電示範系統，並協助清水1 MW地熱發電系統開發

■地熱發電目標

- 2025年淺層地熱開發量150 MW
- 2030年深層地熱開發量50 MW



傳統淺層地熱系統發電示意圖



深層地熱系統發電示意圖

資料來源：工研院

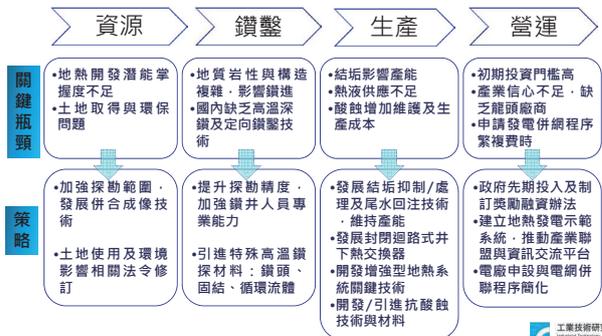
工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P-23

五、地熱發電

面臨的挑戰



工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P-24

五、地熱發電

未來開發策略

- 開發策略由淺入深，短期以開發淺層傳統地熱為主，中長期則發展深層地熱發電技術。深層地熱中長期開發順序：

➢ 蘭陽平原>花東縱谷區>大屯火山區>西部潛能區

- 優先開發淺層天然地熱區域，扶植地熱發電產業

- 政府協助提供投資誘因及環境
- 協助修訂法規限制(土地使用及環評法規等)
- 開發關鍵技術，促使資源永續利用：
 - ◆ 尾水回注技術：解決傳統地熱之天然補充水源不足問題
 - ◆ 結垢抑制技術：減緩井內結垢速率，延長傳統地熱井壽命
 - ◆ 儲集層酸洗技術：清洗地層結垢問題，延長傳統地熱儲集層壽命

工業技術研究院
Research & Technology

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P.25

六、海洋能

我國潛能盤點



臺灣海洋能高潛能區

類別	潛能
海洋溫差能	溫度差 > 20°C 可用能：以溫差 20~25°C、流量 1 公噸/秒計算之能量為 5657~8692 kW
波浪能	10~15 kW/m
海流能	流速： 1.05~1.60 m/s (東部外海) 0.78~1.05 m/s (澎湖水道) 能量： 最大海流潛能： 宜蘭海岸：2.36 kW/m ² @水深 0 m 綠島海域：1.44 kW/m ² @水深 0 m
潮汐能	金門、馬祖外島最大潮差可達 5 公尺 馬祖平均振幅 2.08m；單位面積能量 8.79 (kWh/m ²)

➢ 潛在場址

- 海洋溫差能：東部花蓮外海、臺東外海
- 波浪能：東北角外海、富貴角、澎湖、雲影隆起
- 海流能：富貴角、東部黑潮、澎湖水道

工業技術研究院
Research & Technology

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P.26

六、海洋能

我國潛能盤點 - 波浪發電潛力場址

- 篩選能量大於 10 kW/m、水深小於 50 米及地形坡度小於 10%、初步排除限制區域獲得 八處潛力場址
- 波浪能以三貂角海域約 15.93 kW/m 為最大，雲影隆起二海域約 13.60 kW/m 次之
- 考量場址開發條件，波浪發電可開發量為 2 GW
 - 東北角海域：200 MW
 - 雲影隆起：1.8 GW (5%開發量)

場址	項目	波能 (kW/m)	面積 (平方公里)	地形坡度 (%)	離岸距離 (km)	港口距離 (km)	離岸電所距離 (km)
富貴角海域		10.15	2.42	1.20	0.3	16.0	6.0
龍洞海域		12.98	4.75	1.60	0.15	21.0	7.0
三貂角海域		15.93	10.95	3.50	0.1	23.5	11.0
龜山島海域		12.63	2.23	5.25	0.1	27.5	11.0
花柳海域		12.91	65.47	0.40	82.0	27.0	-
澎湖海域		12.96	423.73	0.50	37.5	31.5	-
雲影隆起一		10.76	574.01	0.20	21.5	24.0	24.0
雲影隆起二		13.60	1126.74	0.15	38.0	39.0	39.0

資料來源：工研院

工業技術研究院
Research & Technology

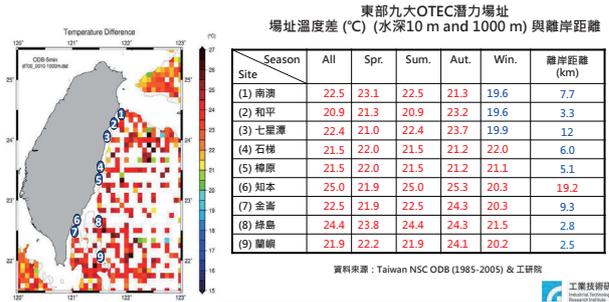
Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P.27

六、海洋能

我國潛能盤點 - 溫差發電潛力場址

- 開發潛能 3.2 GW (台電)
- 可開發量 1.2 GW (離岸距離 < 6 km)



Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

工業技術研究院
Research & Technology

P.28

六、海洋能

我國潛能盤點 - 海流發電潛力場址

■ 黑潮場址

黑潮流經處流速 > 1.2 m/sec

- 蘇澳外海 (Site 1) 100~500 m 深
- 花蓮外海 (Site 2) > 2000 m 深
- 綠島 (Site 3) 100~500 m 深
- 蘭嶼 (Site 4) 1000~2000 m 深

四個可開發黑潮發電的場址，每個場址超過 1 GW 的可開發量

以綠島離本島最近，開發海流發電成本應較低



■ 潮流場址

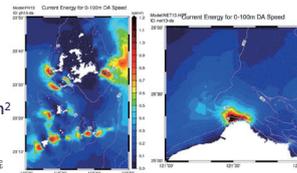
澎湖海域：

潛能 >= 1 kW/m²

可裝設面積：11 km²

可發電容量：49 MW

資料來源：工研院



北臺灣海域：

潛能 >= 1 kW/m²

可裝設面積：40 km²

可發電容量：153 MW

工業技術研究院
Research & Technology

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P.29

六、海洋能

我國推動現況

■ 溫差發電

- 2010 年利用台灣肥料公司深層海水園區的表層海水和深層海水，設計低溫差發電-朗肯熱機循環 (organic Rankine cycle, ORC) 系統，完成低溫差海洋溫差發電示範機組
- 2012 年完成研發建置 50 瓩溫差發電現場機組，提供工業餘熱及地熱/溫泉發電利用

■ 波浪發電

- 藉由低級波浪發電模型機組測試驗證，與業界共同開發 20 瓩級波浪發電機組，於 2013 年進行布放測試

■ 預期未來發展方向

- 以我國較具開發潛力之海洋能種類為重點發展方向，包括溫差發電、波浪發電及黑潮發電

工業技術研究院
Research & Technology

Copyright 2014 ITRI 工業技術研究院

P.30

六、海洋能

面臨的挑戰

	技術瓶頸	環境問題
波浪發電	<ul style="list-style-type: none"> 尺寸效應 存活度 	<ul style="list-style-type: none"> 船隻航安 漁撈作業
海流發電	<ul style="list-style-type: none"> 安裝技術 能量密度 	<ul style="list-style-type: none"> 船隻航安 漁撈作業
溫差發電	<ul style="list-style-type: none"> 發電效率提昇效應 大管徑冷水管技術 	<ul style="list-style-type: none"> 排放水

簡報完畢
敬請指教

六、海洋能

未來開發策略

■ 波浪發電

- 場址位於20至50公尺間水深較淺，開發可由近而遠
- 在雲彰隆起與離岸風電複合以求大量開發，並降低環境影響

■ 海流發電

- 建立海流發電共通技術，先行開發高潛能區之潮流發電
- 由淺海而深海，逐步發展黑潮發電

■ 海洋溫差發電

- 階段性先朝中小型裝置容量之工業餘熱及溫泉/地熱發電發展，先行建立國內溫差發電產業，待大型化技術建立後再向海洋溫差發展
- 如船隻航安無法解決，OTEC是開發海洋能唯一的機會

七、結語

- 我國再生能源目標係以技術成熟、成本可行等原則規劃，逐步均衡發展，預計於2025年再生能源總裝置容量將達9,933 MW，新增裝置容量6,718 MW，提早5年達成再生能源發展條例所定20年增加6,500 MW目標，2030年再生能源總裝置容量進一步擴大成長至13,750 MW
- 以國際再生能源技術發展、國內產業利基、產業發展效益等條件為原則，選定太陽光電、風力發電(離岸)、生質能(沼氣及廢棄物)、地熱等具開發潛力項目優先推動，並持續擴充技術能量，加速朝能源多元化發展，以厚植本土再生能源產業實力
- 持續透過保障收購再生能源電能(FIT機制)及提供相關示範獎勵等作法，積極推動「陽光屋頂百萬座」及「千架海陸風力機」計畫等再生能源項目發展，以達成2030年推廣目標

第五場：氫氣燃料電池機車的發展前景

主持人：劉曜華教授

主講人：黃林輝／亞太燃料電池公司總經理

近來電動車的議題在全世界炒的火紅，對於未來零汙染的交通工具人類似乎已經找到答案，加上媒體的全力放送，全世界只要與電動車沾上邊的企業股價都像綁上火箭似的一飛衝天，營造一片產業興興向榮的景象。

實際上是否如此呢？我們參考一下最近的幾則新聞 -

1. 電動車生意難做，唯有特斯拉 (Tesla) 一枝獨秀？飛雅特克萊斯勒汽車執行長 Sergio Marchionne 懇求大家不要買旗下電動車 Fiat 500e，他說電動車是賠本生意，賣越多虧越多。路透社報導，Marchionne 21 日在華府會議上直言，特斯拉是唯一賺錢的電動車商，主因特斯拉 Model S 定價較高。他說：「希望各位不要買 500e，因為每賣一輛我們就虧損 1.4 萬美元，希望賣出規定的最低限度就好，一輛也不多。」今年初飛雅特剛和克萊斯勒完成合併，Marchionne 說，要是他們只生產電動車將陷入破產困境，必須二度向華府要求紓困。克萊斯勒 2009 年宣告破產，曾接受美國政府紓困。

2. 美國加州等地要求車廠打造零排放環保車，飛雅特克萊斯勒為此生產了 Fiat 500e 電動車，要價 32,650 美元。民眾一般對電動車反應冷淡，因為駕駛里程數有限、價格過高讓不少人卻步。

3. 紐約時報和華爾街日報報導，豐田汽車 (Toyota) 看壞電動車，壓寶燃料電池科技，12 日宣布該公司和特斯拉 (Tesla) 的電動車電池供應協定今年到期之後，不會續約，將專注發展燃料電池車。豐田先前也曾推出 RAV4 電動車，基本售價 49,800 美元，不料銷售奇慘無比，豐田極力促銷也無力回天。豐田高層逐漸認為燃料電池才是環保車的發展方向，與主打電動車的特斯拉漸行漸遠。豐田表示，今年將全力研發四門燃料電池車，計畫明年在美國加州發表，同時也將發展加氫站，支援燃料電池科技。

節能減碳是世界共通的語言，各國政府無不卯足全力在推動所謂的綠色新政，這些大家耳熟能詳為了要降低溫室氣體與有毒氣體排放的政策措施，不外乎都是為了人類最基本的要求 - 就是人類要活下去。

氣候變遷與環境汙染所帶來的人類生存問題，已經到了沒有國家可以置身事外的地步。在全世界這波綠能環保浪潮下，除了倡導人類在生活上所必須的改變之外，另一方面，也帶來了非常巨大的綠色商機，在低碳化的城市願景與規劃中，標榜行駛中不會排放廢氣的電動車，自然成為各國政府隨手可得的綠色績效。但是純電動車真的環保嗎？真的合乎大眾的需求嗎？在同為海島國家的日本，有著不同的思路與做法值得借鏡。

燃料電池技術邁向商業化發展已超過二十年，顧名思義，燃料電池並不是需要充電的二次電池，只要源源不斷的提供燃料就能不間斷發電，因此說它是一部發電機更為貼切。燃料電池的種類很多，以氫燃料電池來說，它以氫氧做為燃料，經過電化學反應產生電、熱和水，過程既沒有燃燒也沒有溫室氣體排放，完全符合人類永續發展的法則，因為近年來在材料技術與製作工藝上的突破，讓燃料電池科技由實驗室走入家庭成為可以量產的新綠能科技產品。

日本因為四面環海資源匱乏，在發展永續節能科技上一直比其他國家投入更多的關注與資源，在經過政府與專家學者有系統的論證之後，確定了日本燃料電池國家發展藍圖，自此，在政府提供法規服務與驗證平台協助下，日本各大企業大舉投入，二十年後的今天，日本於家用發電機與燃料電池汽車技術不僅領先世界，甚至輸出標準到歐洲、美國，不僅有機會減少國內對於進口能源的依賴，更為產業界創造新藍海，有機會於未來獨佔燃料電池關鍵零組件的供應。

歐洲、美國、加拿大於燃料電池的發展上並不置身事外，各國皆依自身產業與天然資源稟賦的不同而選擇最適合的發展路徑，而石油公司與燃氣公司在燃料電池發展計劃中也扮演最重要的基礎設施建置角色，其目的無非是應用現有油氣供應通路，預做未來氫能經濟來臨前的技術準備。

台灣目前還深陷代工產業的泥沼與氛圍，在投入燃料電池技術的廠商規模還相對弱小的情形下，對於燃料電池技術還相當不友善，日本至 2013 年 9 月為止在政府的補助下已有超過五萬台的安裝實績，台灣政府口口聲聲說的創新與產業升級，實際上卻是掩耳盜鈴，不願正視世界潮流與國家永續發展危機。亞太燃料電池公司技術上領先國際，我們的燃料電池應用在機車上，運轉至今已超過 36 萬公里，在全球燃料電池技術競賽上已佔有一席之地，美國 Discovery Channel 特別於今年六月中旬與外交部合辦發表亞太燃料電池公司產品與研發故事影片，選擇台灣亞太燃料電池公司為台灣最有潛力的科技公司，影片並於全世界撥出。近幾年政府運作效能令人失望，如何不讓台灣的低碳永續規劃淪為口號與形式，的確是我們極應深思的課題。

經濟奇蹟已是陳年往事，數年來台灣各方面已深陷泥沼但政府卻束手無策，當世界各國無不靠著創新試圖開創新經濟機會，只有台灣仍牢抱舊思維，動也不動彷彿像顆等待風化的石頭。

其實台灣本是機車王國，近幾年在業者的努力之下整車自製率已達百分之百，配合政府大力推廣的鋰電池電動機車補助計畫，國內廠商已有能力開發出高品質的輕型電動車輛，唯電池充電問題仍是目前電動機車未能普及的主要原因之一，綜觀國外車廠發展經驗，燃料電池與鋰電池的搭配已被視為最佳的解決方案。亞太燃料電池機車使用低壓氫氣罐做為燃料補充來源，當氫氣耗盡時只需更換氫氣罐，燃料補充時間少於一分鐘，如此先進且環保的產品獲得多國專利且已通過實際道路測試驗證，性能與現有鋰電池機車相比有過之而無不及。

氫是存在最豐富的元素，在未來，氫氣可以 100% 經由再生能源的方式取得，就算現在，石化工業所產生的廢氫數量之龐大難以估計，這些氫氣經過純化後都可以使用。其實取得氫氣的瓶頸在於運輸與儲存的價格，氫氣早就是成熟的工業用氣體，來源是完全沒有問題的，但在個人使用上還是頭一遭。如何將大量且高壓的氫氣安全便宜的交給消費者使用，是目前全世界各大汽車公司與政府努力的目標，這點在技術上已經完全克服，日本甚至有相關法規出台，但教育消費者觀念這條道路，嚴謹且耗時。各國現階段紛紛投入鉅資進行氫燃料電池交通工具示範運行，企盼領先世界掌握未來氫能經濟的商業契機，教育與社會實證是燃料電池大規模普及前的最後一哩。

亞太燃料電池公司掌握輕型燃料電池交通工具多種專利，在氫氣的儲存上，使用低壓金屬儲氫技術，輕易通過高壓氣體安全法規，也確立了低壓金屬儲氫應用在輕型交通工具上所獨具方便且價格低廉的優勢。

想像你的車子跑起來既安靜又只排放出水滴是一種什麼樣的畫面？這不是科幻電影裡的情節，而是全世界都在做的，一種對抗全球暖化，開創綠色經濟模式的另一次工業革命，台灣有幸躬逢其盛，在這波綠色革命中沒有缺席。台灣政府如能整合業者，盡速研擬合乎世界潮流的輕型燃料電池電動車輛發展戰略，結合台灣領先世界的輕型燃料電池車輛技術與整車設計實力，擁有高附加價值且完全自主的綠色科技產業立即不是夢想。

第六場：淨煤與儲能的選項與角色

主持人：吳焜裕教授

主講人：林立夫／交大機械工程學系 合聘教授



PM_{2.5}減量相關技術研討會

台灣擺脫化石能源邁入再生能源世代之芻議
—再生能源/儲能與淨煤之角色—

報告人：林立夫 研究員
2014/07/26



前言—能源安全/空污與氣候變遷之挑戰

- 維持經濟動能及**籌措財源**推動新能源/新環保選項是現實面的主要挑戰
- 各國政府莫不追求兼顧經濟發展(經濟成長、就業機會)/環境保護/民眾健康及能源安全(低能源帳單、高能源供應品質)之政策(管制、獎勵、課稅、創造新的交易平台、)
- 本文提出**再生能源/儲能與淨煤**是我國技術及經濟可行短中程方案之分析



簡報大綱

- 一、前言—能源安全/空污與氣候變遷之挑戰
- 二、台灣永續發展之能源選項
- 三、化危機為轉機之策略
- 四、結語



前言—能源安全/空污與氣候變遷之挑戰

進口能源超過97%我國能源帳單已飆高至14%之GDP



前言—能源安全/空污與氣候變遷之挑戰

- 我國能源帳單自2003年(約佔GDP4%)大幅上升至近年約GDP之14%，肇因於國際油價大漲及自產能源僅約3%
- 解除空污(SO_x、NO_x、PM、)與氣候變遷(CO₂、GHG、)之威脅已是國際關心之議題也是各國施政之主要課題
- 空污與氣候變遷之主要汙染源來自利用化石能源之點/線/面設施排放
- **擺脫化石能源邁入再生能源世代是解決能源安全/空污與氣候變遷一勞永逸之願景**

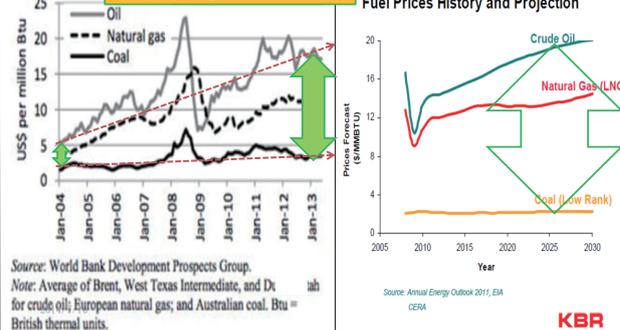


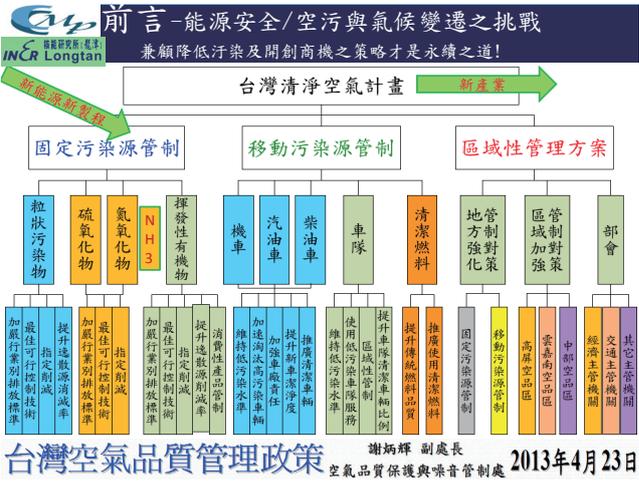
前言—能源安全/空污與氣候變遷之挑戰

標之在人—因素：國際能源原料自2004年以來大幅上漲

過去10年內單位熱值油/天然氣與煤之價差大幅擴大
展望未來，油/天然氣與低品味煤之價差將日益擴大

我國之天然氣價約為油價之九成





5、依據空氣污染防治法施行細則第2條第1項第2款規定, 粒狀污染物包含總懸浮微粒、懸浮微粒(含細懸浮微粒)、落塵等項。臺中火力發電廠為降低粒狀污染物排放, 裝設如前述之效率高達99.8%靜電集塵器, 依據98年5月至101年5月檢測結果顯示, 臺中火力發電廠粒狀物排放濃度值為1至23 μg/m³, 低於環保署所發布之「電力設施空氣污染物排放標準」限值32 μg/m³。另環保署對於電力設施亦訂定氣狀污染物(含氮氧化物、硫氧化物)之排放標準, 臺中火力發電廠因此分別裝設高效率之脫氮、脫硫設備, 故排放之氮氧化物、硫氧化物濃度均遠低於環保署規定之標準值, 氮氧化物排放約90ppm(法規規定200ppm以下), 硫氧化物排放則約50ppm(法規規定300ppm以下)。 調查依據: 本院100年12月28日院台調查字第1000800523號函, 並派調查員○○○協助調查。 台電公司 滿足管制法規要求!



5、該公司表示若新興或擴建工廠時, 均依環境影響評估法先進行環境影響評估, 針對工廠所排放產生之各項空氣污染物(含粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物), 均參照環保署空保處模式支援中心建議模式(ISCST3、CMax)進行空氣品質擴散模擬分析, 送環保署環評委員及學者專家審查通過方能進行, 以降低開發行為對環境之不良影響, 確保環境品質之維護。

調查依據: 本院100年12月28日院台調查字第1000800523號函, 並派調查員○○○協助調查。

中油公司
滿足管制法規要求!

項目 污染物	國家法規 排放標準	BACT 要求	環評 要求	污染 防制 設備	實際平均 排放濃度	去除效率
硫氧化物 (SO _x)	<300ppm	<50ppm	25~40ppm	排煙脫 硫 FGD	10~24ppm	97~98%
氮氧化物 (NO _x)	<250ppm	<50ppm	46~50ppm	排煙脫 硝 SCR	35~45ppm	73~85%
粒狀污染物 (TSP)	35~70 mg/NM ³	35~70 mg/NM ³	23~25 mg/NM ³	靜電集 塵器 EP	<23mg/NM ³	99.85%
	滿足管制 法規要求!	20%	20%		20%	

台塑企業麥寮園區 涉外環保議題彙編

前言-能源安全/空污與氣候變遷之挑戰

低碳足跡之產品將是我國未來經濟發展之引擎

2001: ELVD (End of Life Vehicles Directive) 2000

2003: WEEE (Waste Electrical Electronic Equipment Directive) 2003, RoHS (Restriction of Hazardous Substance Directive) 2003

2005: EUP (Energy Use Product) 2005

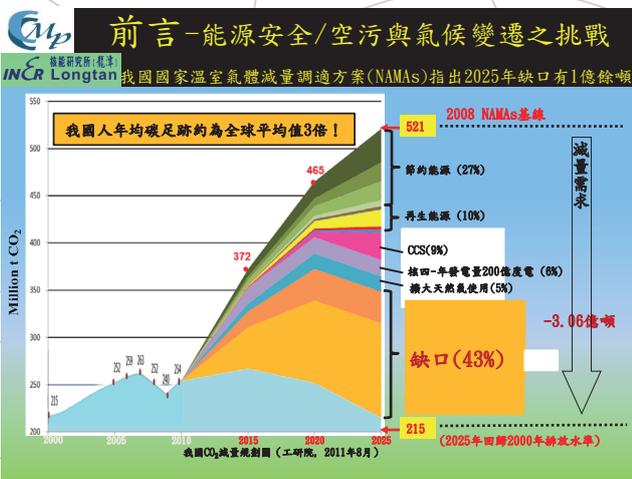
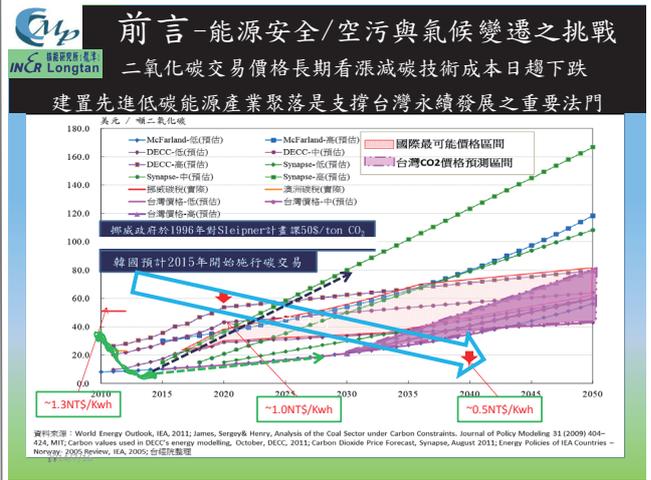
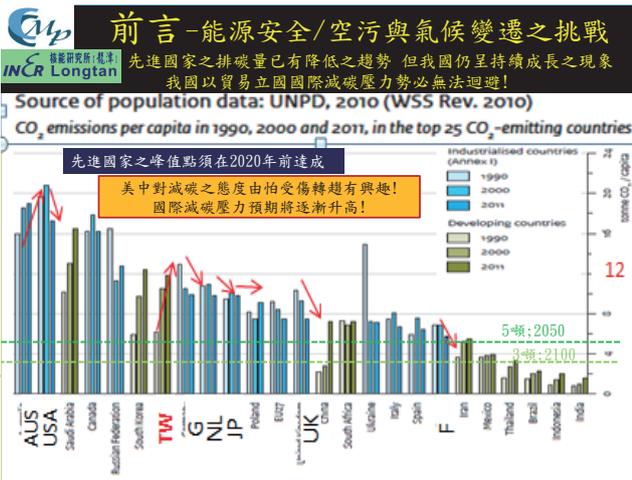
2007: REACH (Registration Evaluation Authorization Restriction Of Chemicals) 2007

2010: Carbon Trading / Carbon Tax, Export Shrink Risk! ca.56% export to advanced country

2020: Mandatory Carbon Disclosure ??

2003 Carbon Disclosure Project: Three industry parks contributed to 19% of annual export amount in 2008

Country	Export Amount (B\$)	Export ratio	Re-Export (estimated)
1 CHN	60	25.30%	ca.70%
2 HK	40	15.40%	ca.50%
3 USA	30	13.00%	-
4 EU	27	11.63%	-
5 JP	15	6.46%	-



台灣永續發展之能源選項

氣候變遷、化石能源供不應求與福島事件之衝擊

潔淨化石能源 (91%, 86%)
(低碳足跡、低排放、低污染製程)

永續發展之能源供應

再生能源RE(<3%, 10%)
間歇性?高成本?

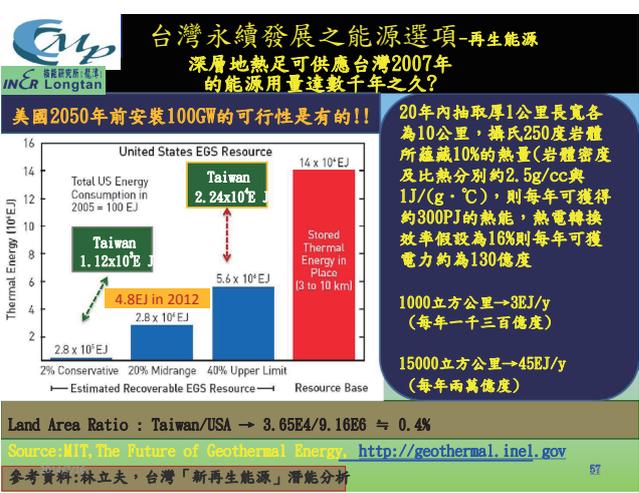
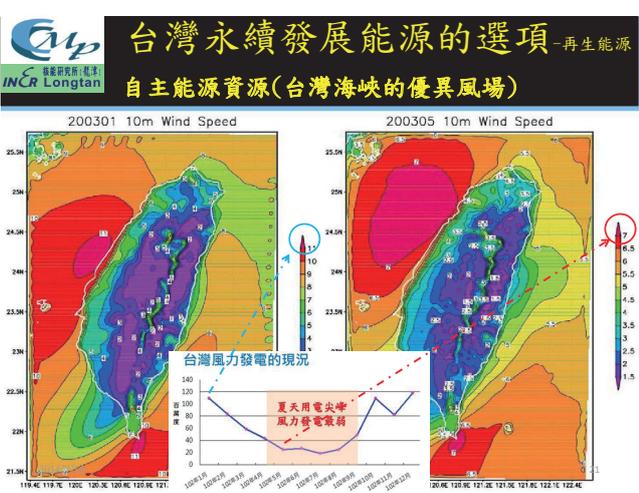
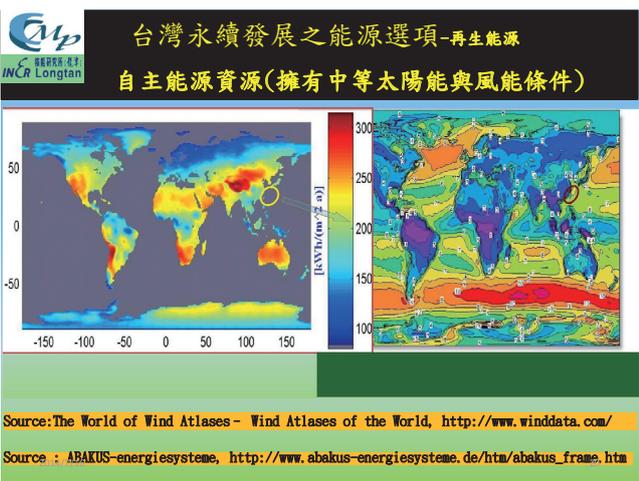
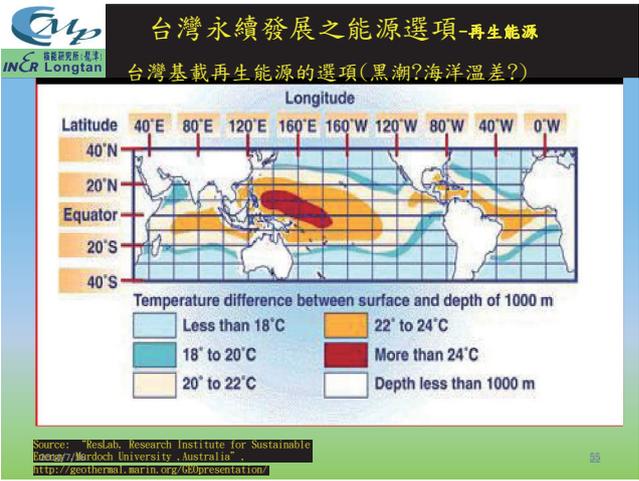
核能NE(<7%, 4%)
地震安全?核廢料安全處置?財務風險?

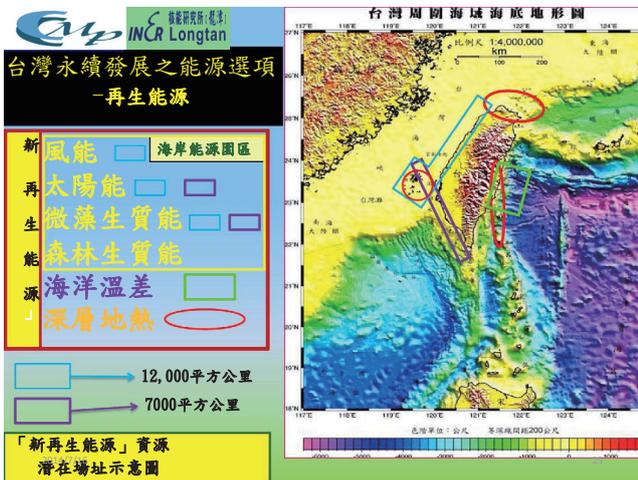
台灣永續發展之能源選項

我國再生能源發電已較天然氣發電便宜!

項目	102年審定決算	103年6月底止
自發電力		
火力發電	2.73	2.67
燃料	6.97	7.01
燃煤	1.39	1.32
天然氣	3.91	3.97
核能發電	0.95	0.97
(扣除後端基金舉債收入之淨成本)	(0.88)	(0.89)
抽蓄發電	3.02	4.40 ??
再生能源發電	1.56	1.70
自發電力小計(A)	2.27	2.24
購入電力		
汽電共生	2.13	2.20
民營電廠	3.31	3.20
燃煤	2.31	2.09
天然氣	4.66	4.63
再生能源	2.76	3.14
購入電力小計(B)	3.06	2.99
平均發購電成本(A+B)	2.45	2.41

http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-a02.aspx?LinkID=22

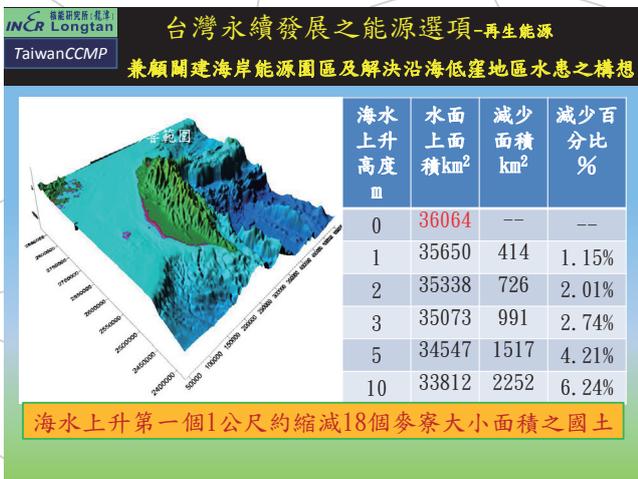
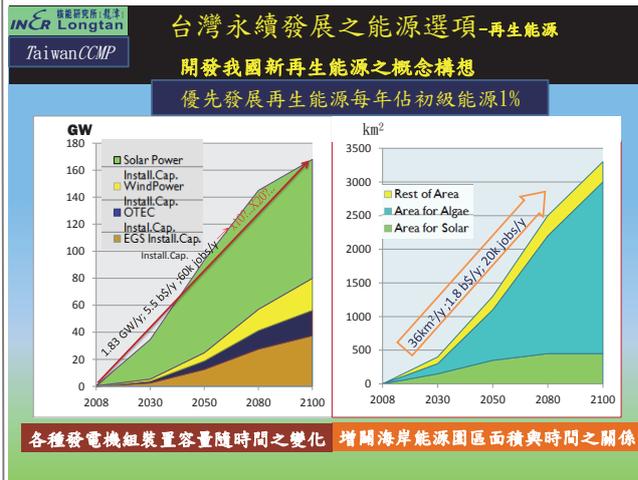
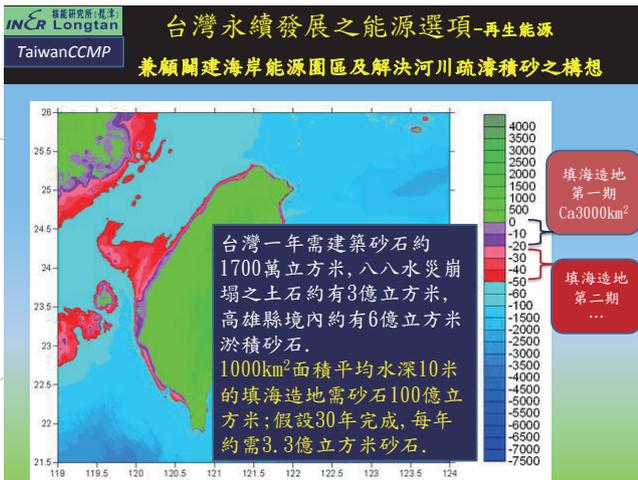




台灣永續發展之能源選項-再生能源

在地狹人稠之地區填海造地具有很高之成本效益

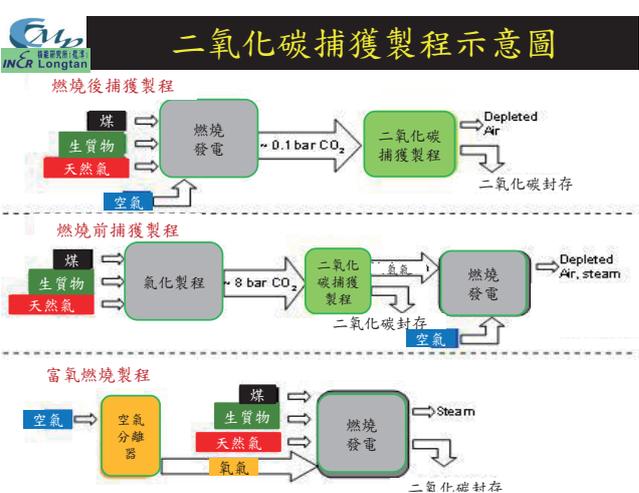
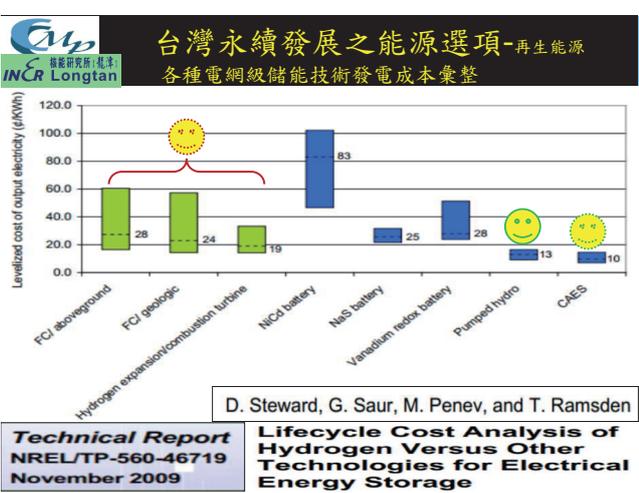
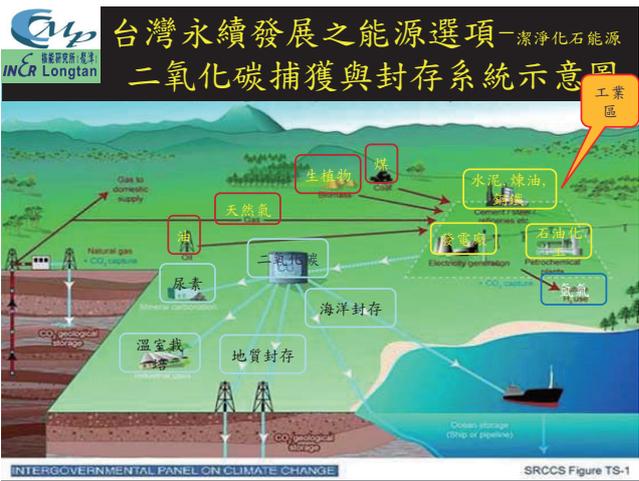
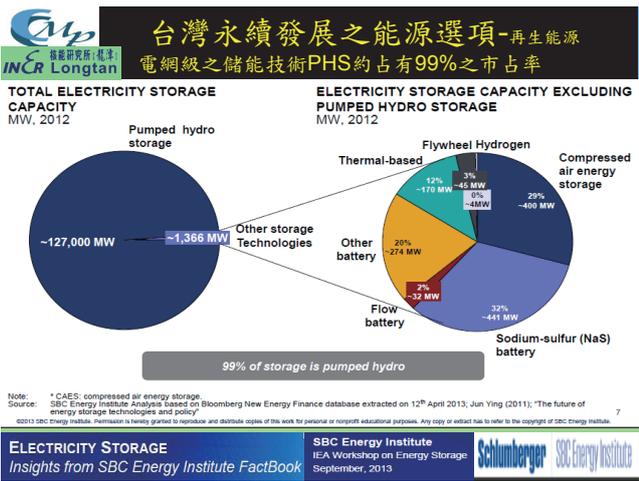
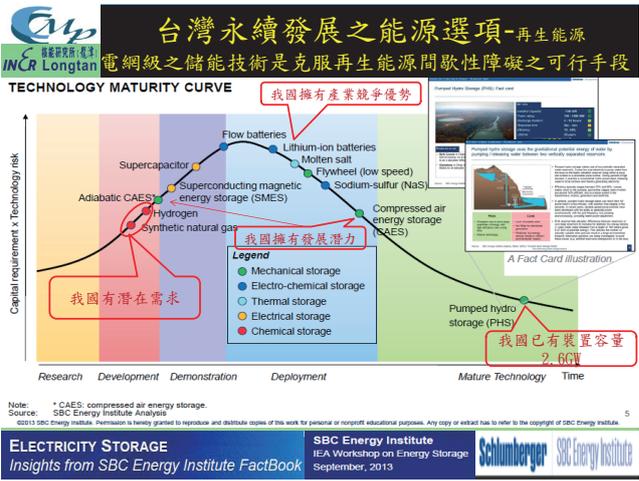
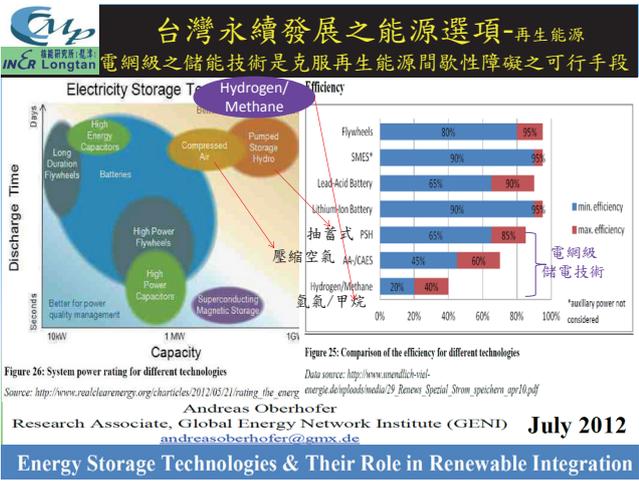
City	Range of land prices (2006) in € / m ²
Hong Kong	19,500 - 31,400
Singapore	4,600 - 6,200
Dubai	1,785 - 4,150
Tokyo	1250 (average)
Rotterdam	485 - 625
Cost of reclaimed land	< 250 (incl. revetment and compacting)

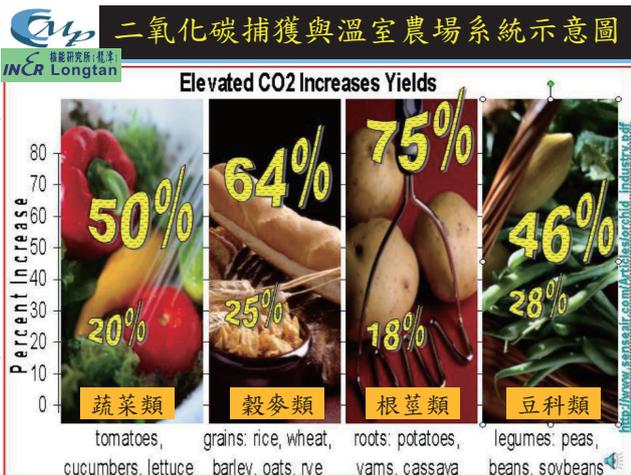
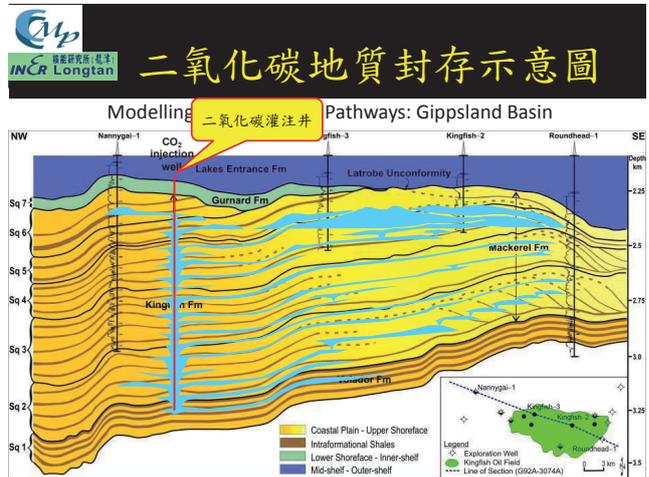


台灣永續發展之能源選項-再生能源

我國擁有豐富的電力能源資源

資源與潛能 能源選項	面積 (km ²)		電力 (G kWh/y)	熱能 (PJ/y)	運輸油 (GLOE/y)	CO ₂ 排放量 (Mt/y)
	陸基	海基				
風力		10000 ^a	250 ^a			
太陽電	e=15%	1000 ^a	450 ^a			
	e=30%	500 ^a				
深層地熱 (地下4至7公里)	1000 ^a		200 ^a			
海洋溫差	200 ^a	1000 ^a	350 ^a			
次世代生質能	20000 ^a	2700 ^a		800 ^a	16 ^a	-160 ^a
新能源潛能			1250 ^a	800 ^a	16 ^a	-160 ^a
2012能源			241 ^a	1320 ^a	16 ^a	
總能源消費=4.8EJ			(2.88EJ)	(1.32EJ)	(0.6EJ)	248 ^a



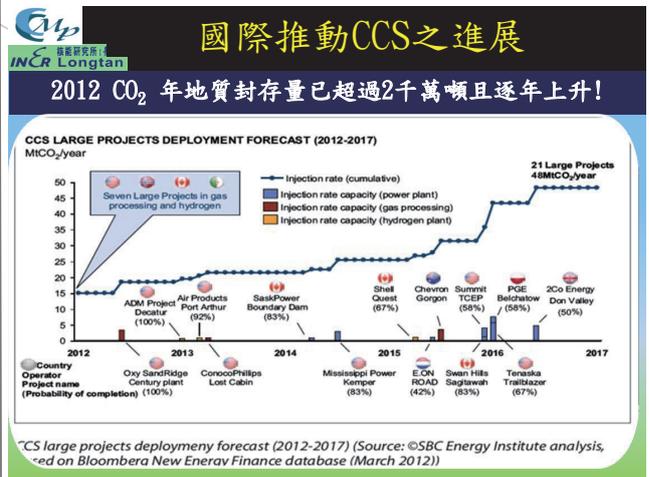
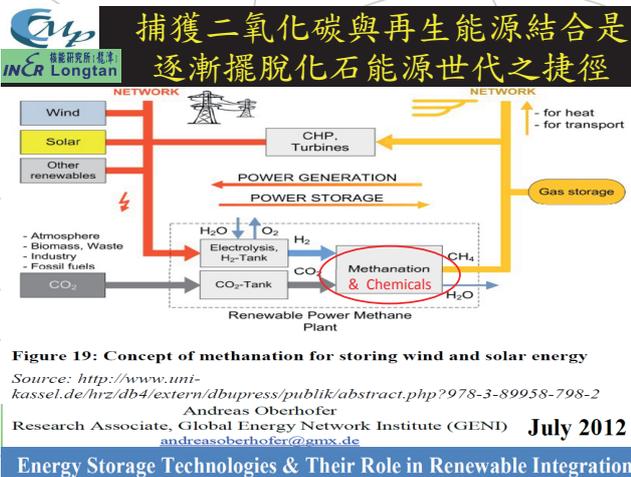


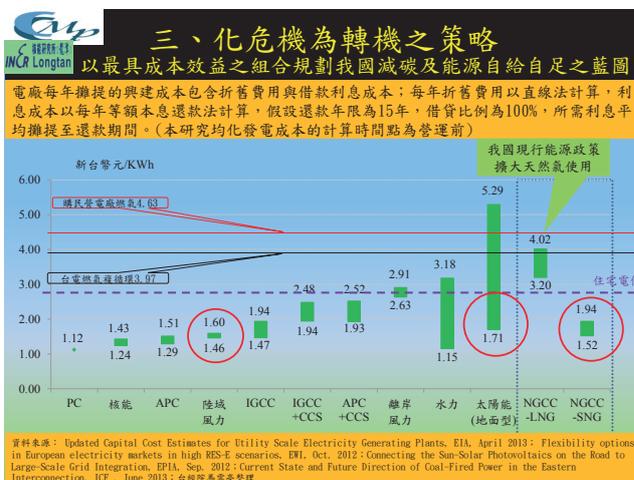
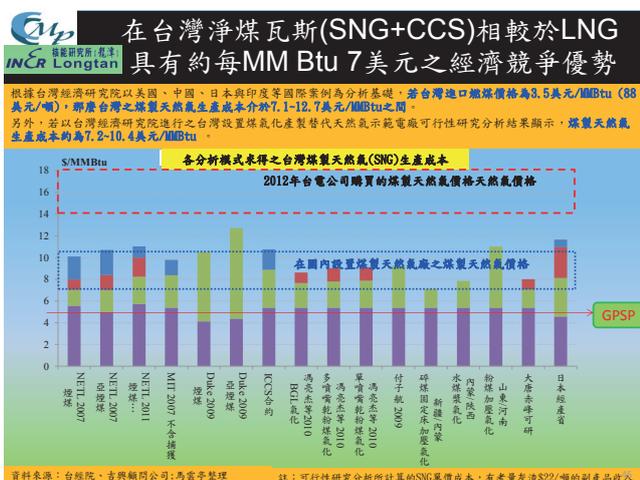
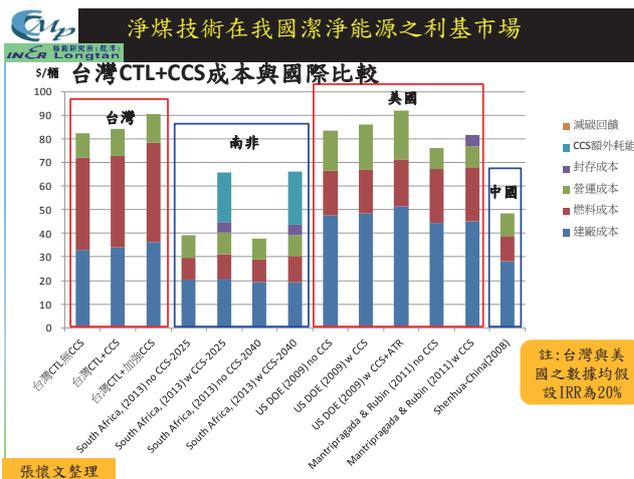
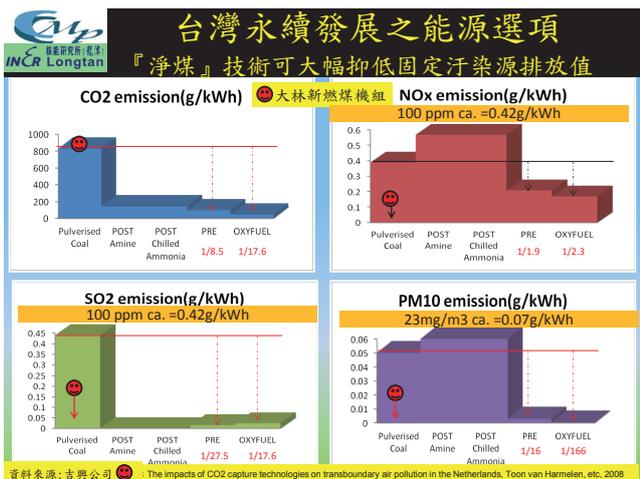
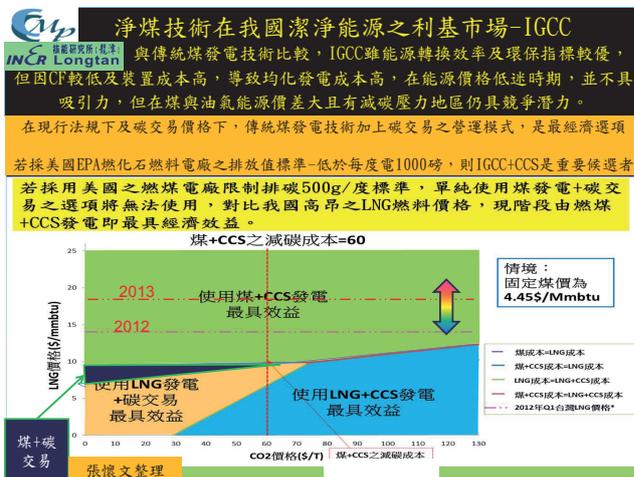
台灣永續發展之能源選項-潔淨化石能源

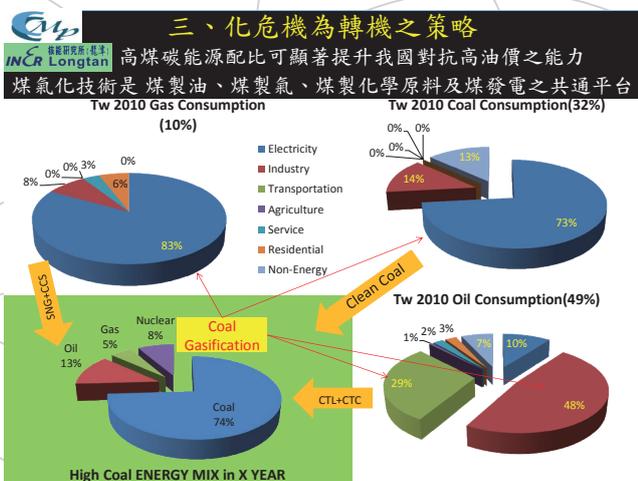
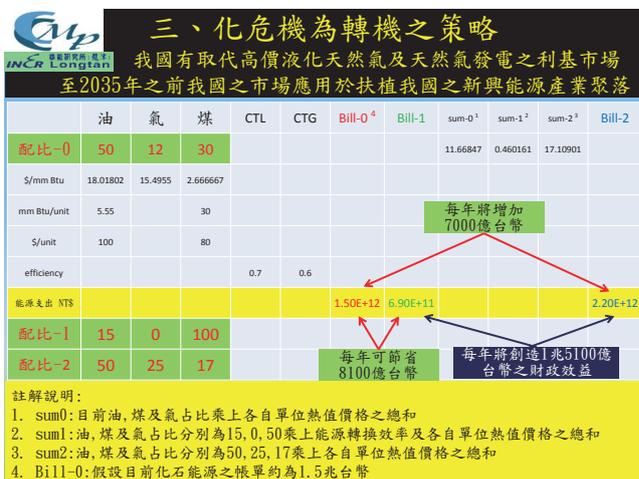
UNFCCC 已於2011年正式將CCS納入CDM之選項

年份	CCS納入CDM計畫之重要事項
2005	<ul style="list-style-type: none"> 國際上提出兩項CCS計畫納入CDM方法學： <ul style="list-style-type: none"> 越南：從NGCC電廠捕集下來的CO₂，利用管線運輸至封存場址，並使用EOR技術進行離岸封存。 馬來西亞：從離岸油氣井中天然氣分離出CO₂及H₂S，並將CO₂封存於鹽水層。
2005 COP11	<ul style="list-style-type: none"> 評估計畫邊界、區域的洩漏及永久性等問題
2006 COP12	<ul style="list-style-type: none"> 進行工程領域(例如：場址選擇及監測方式)及財務責任挑戰(例如：專案永久性)的影響分析
2007 COP13	<ul style="list-style-type: none"> UNFCCC提供1480億美元進行CCS及再生能源的推動工作，並對CDM破壞BAU情境進行研究。
2010 COP16	<ul style="list-style-type: none"> 解決最後的一些爭議點：場址選擇標準、監測計畫、模式的適合性、風險評估、計畫邊界、責任及災害預防
2011 COP17	<ul style="list-style-type: none"> 將CCS正式納入CDM，並為確保其環境整合性 (environmental integrity)，每五年須進行一次指引的檢視與修正。
2012 COP18	<ul style="list-style-type: none"> 解決運輸過程涉及跨越不同國家問題，提升CCS於CDM計畫之實用性

資料來源：ITRI 團隊





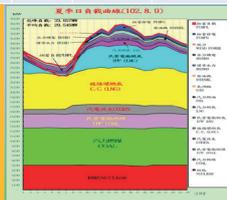


三、化危機為轉機之策略

在確保電力品質之條件下淨煤是兼顧供電及減碳成本之最佳方案

每年發70億度電為比較基礎	能源安全	能源帳單	供電成本	供電品質	碳足跡	裝置金額	產業聚落
基本情境: 擴大天然氣方案							
太陽電		++	+	--	++	--	+++
陸域風電		++	+++	--	++	--	++
近岸/離岸風電		++	+	--	++	--	+
淨煤瓦斯	+	+	+	--	--	--	++
淨煤發電	+	+	++		+		

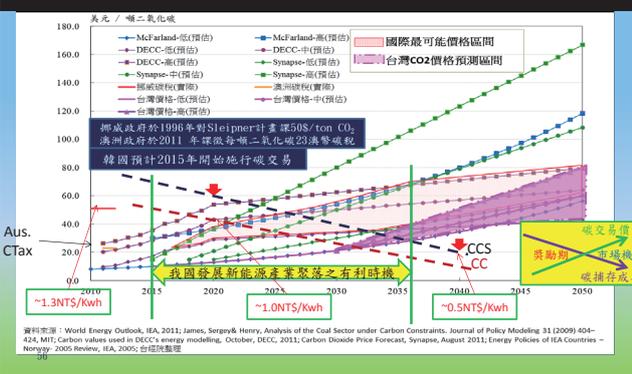
- 在不危及電力系統之可靠度應儘可能提升再生能源佔比，此部分端賴有計畫建置電網級之儲電設施，擴大微電網或增加輸配電系統之投資，方可逐步提升已具有經濟競爭力間歇性電力之占比
- 電力品質及碳足跡與燃氣發電相當者有淨煤兩個選項
- 在兩個淨煤選項中淨煤瓦斯之裝置金額較低
- 燃氣發電相較於燃煤發電負載追隨能力強與間歇性再生能源之相容性較優異
- 淨煤瓦斯可以生質物作為進料，產生生質瓦斯，其中氣化技術是化石能源與再生能源共通之技術



敬請指教

三、化危機為轉機之策略

我國有取代高價液化天然氣及天然氣發電之利基市場至2035年之前我國之市場應用於扶植我國之新興能源產業聚落



減碳成本公式

$$\text{減碳成本} = \frac{\text{LCOE}_{\text{reference case}} - \text{LCOE}_{\text{base case}}}{\text{EI}_{\text{base case}} - \text{EI}_{\text{reference case}}}$$

註：LCOE表示均化發電成本(\$/Kwh)、EI表示二氧化碳排放密度(ton/kWh)

$$\text{均化發電成本} = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_t + O \& M_t + F_t + I_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1+r)^t}} = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{C_t + O \& M_t + F_t + I_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{U \times CF \times 365 \times 24_t}{(1+r)^t}}$$

- T=經濟年限
- E=第t年發電量
- C=第t年電廠折舊成本
- O&M=第t年運維成本
- F=第t年燃料成本
- r=折現率
- CF=容量因子
- U=裝置容量

資料來源：Edward S. Rubin, Anand B. Rao, Chao Chen, Understanding the Cost of CO2 Capture and Storage for Fossil Fuel Power Plant, Carnegie Mellon University, 2003, IEA, 本研社整理

四、結語

- 空污/氣候變遷及能源安全均與能源利用密不可分，「人無遠慮必有近憂」，面對21世紀能源進入供不應求及低碳足跡之世代，為確保台灣國民福祉代代綿延，潔淨能源資源與供應安全之掌握是刻不容緩的事宜。
- 開發我國再生能源潛能，扶植新興能源產業，創造新就業機會，積極布建電網級電力儲能設施，設定每年增加2%(例如1%)初級能源速率之國家目標。
- 我國已擁有相當規模之電網級儲能設施，足以支援間歇性再生能源之拓展，尋找具經濟可行之營運模式應是當急之務。
- 開發我國龐大地質封存潛能，佈建二氧化碳地質封存基礎建設，推動淨煤製氣、淨煤化工、淨煤煉油及淨煤發電之相關計畫，應是我國邁入再生能源世代最具成本效益之選項。
- 以再生能源/儲能及淨煤選項取代現行擴大天然氣方案，打造國內低碳能源市場，奠定我國永續發展之基礎。

國際間化石燃料電廠興建成本彙整

- 本研究彙整國際間2013年發布的化石燃料電廠成本相關資料，由於成本計價的貨幣及年份皆不同，本研究將成本數據做下列調整，並將調整後的隔夜成本彙整如下方右圖。(參考資料詳見下方「資料來源」)
- 1. 將成本數據根據該報告國家的通貨膨脹率調整為2012年的價格水準
- 2. 所有非美元計價的成本幣別皆根據報告發布年度的匯率轉為美元



註：DECC 2013的IGCC成本是以DECC 2012的IGCC成本為基礎，並根據DECC的2012與2013年發布的報告中IGCC+CCS成本增加幅度調整而得。

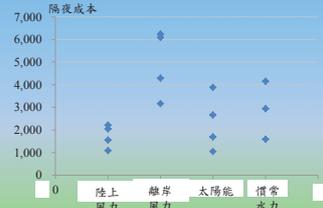
資料來源：Updated Cost(Aug 2011 Basis) for Selected Bituminous Baseline Cases, DOE/NETL, August 2012; Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants, EIA, April 2013; Flexibility options in European electricity markets in high RES-E scenarios, EWI, Oct. 2012; Electricity Generation Cost Model 2012 Updated of Non-Renewable Technologies, DECC, 2012; Electricity Generation Cost Model 2013 Updated of Non-Renewable Technologies, DECC.

國際間再生能源興建成本彙整

- 本研究彙整國際間2013年發布的再生能源成本相關資料，由於成本計價的貨幣及年份皆不同，本研究將成本數據做下列調整，並將調整後的隔夜成本彙整如下方右圖。(參考資料詳見下方「資料來源」)
- 1. 將成本數據根據該報告國家的通貨膨脹率調整為2012年的價格水準
- 2. 所有非美元計價的成本幣別皆根據報告發布年度的匯率轉為美元

不同報告再生能源資訊點檢表

	EIA 2013	EWI 2013	WEC 2013
陸上風力	○	○	○
離岸風力	○	○	○
太陽能	○	○	○
慣帶水力	○	○	○



資料來源：Updated Cost (June 2011 Basis) for Selected Bituminous Baseline Cases, DOE/NETL, August 2012. Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants, EIA, April 2013. Flexibility options in European electricity markets in high RES-E scenarios, EWI, Oct. 2012. Electricity Generation Cost Model 2012 Updated of Non-Renewable Technologies, DECC, 2012. Electricity Generation Cost Model 2013 Updated of Non-Renewable Technologies, DECC, 2013. World Energy Perspective: cost of Energy Technologies, World Energy Council, 2013. 本研究整理

各發電選項計算參數-再生能源

2012年價格水準	水力發電		陸域風力發電		離岸風力發電		太陽能 (PV 地面型)	
	WEC	WEC	EIA	EWI	EIA	EWI	EIA	WEC
隔夜成本(\$/kWh)	4,150	1,590	2,213	1,549	6,230	3,156	3,873	2,522
運維成本	變動 (\$/kWh)	0	0	0	0	0	-	-
	固定 (\$/kW-yr)	62,000	20,000	39.55	57.58	74	179.8	24.69
燃料/燃料成本	-	-	-	-	-	-	-	-
碳運輸與封存成本 (\$/噸CO2)	-	-	-	-	-	-	-	-
電廠興建期間	4		3		4		2	
折現率	8%		8%		8%		8%	
借款利率	1.21%		1.21%		1.21%		1.21%	
裝置容量(MW)	500		100		400		100	
容量因子	20%		30%		42%		13%	
電廠運轉年限	40		25		25		25	
熱效率	-		-		-		-	

資料來源：Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants, EIA, April 2013. Flexibility options in European electricity markets in high RES-E scenarios, EWI, Oct. 2012. Connecting the Sun-Solar Photovoltaics on the Road to Large-Scale Grid Integration, EPIA, Sep. 2012. Current State and Future Direction of Coal-Fired Power in the Eastern Interconnection, ICF, June 2013. World Energy Perspective: cost of Energy Technologies, World Energy Council, 2013. 本研究整理

各發電選項計算參數-火力與核能電廠

- 根據前述彙整的電廠成本，取最高與最低的興建成本作為計算均化發電成本的上下限。各電廠的詳細資料如表所示。

2012年價格水準	PC		Advanced PC		Advanced PC+CCS	
	NETL	EWI	EIA	DECC	EIA	DECC
參考報告	2367	2107	2,934	2,310	4,724	4,756
隔夜成本(\$/kWh)	0.00798	-	0.00447	0.001593	0.00951	0.00360
運維成本	變動 (\$/kWh)	-	-	-	-	-
	固定 (\$/kW-yr)	69	51	31	37,859 (\$1000/yr)	66
燃料/燃料成本	煤價：\$3.5/MMBtu		煤價：\$3.5/MMBtu		煤價：\$3.5/MMBtu	
碳運輸與封存成本 (\$/噸CO2)	-	-	-	-	已反應於運維成本中	
電廠興建期間	4		4		4	
折現率	8%		8%		8%	
借款利率	1.21%		1.21%		1.21%	
裝置容量(MW)	800		1,300		1,300	
容量因子	85%		85%		85%	
電廠運轉年限	40		40		40	
熱效率	37%	46%	39%	41%	28%	39%

註：借款利率參考台灣政府2012年的10年期公債平均利率。

各發電選項計算參數-火力與核能電廠(續)

2012年價格水準	IGCC		IGCC+CCS		NGCC		核能	
	EIA	DECC	EIA	DECC	DECC	EIA	WEC	EWI
隔夜成本(\$/kWh)	3,784	3,867	5,675	5,521	988	917	6,520	4,434
運維成本	變動 (\$/kWh)	0.00722	0.00159	0.00845	-	0.00023	0.0036	-
	固定 (\$/kW-yr)	51	108,323 (\$1000/yr)	60	213,812 (\$1000/yr)	39,454 (\$1000/yr)	13	122,880 (\$/MW/yr)
燃料/燃料成本	煤價：\$3.5/MMBtu		煤價：\$3.5/MMBtu		LNG價：\$16/MMBtu		7.5 \$/MWh	
碳運輸與封存成本 (\$/噸CO2)	-	-	運維成本中已計算		10	-	-	-
電廠興建期間	4		4		2		4	
折現率	8%		8%		8%		8%	
借款利率	1.21%		1.21%		1.21%		1.21%	
裝置容量(MW)	1,200	900	1,040	734	620	2,234	2,234	
容量因子	80%		80%		85%		90%	
電廠運轉年限	40		40		30		40	
熱效率	39%	43%	32%	40%	60%	48%	-	

註：借款利率參考台灣政府2012年的10年期公債平均利率。