

出國報告（出國類別：實習）

PM_{2.5} 防制技術與空污相關管制措施研習

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：吳文豪（專員）

派赴國家：日本

出國期間：106年9月18日至106年9月23日

報告日期：106年11月9日

出國報告審核表

| | | |
|------------------------------|--|-------------------|
| 出國報告名稱：PM2.5 防制技術與空污相關管制措施研習 | | |
| 出國人姓名(2人以上,以1人為代表) | 職稱 | 服務單位 |
| 吳文豪 | 一般工程師 | 台灣電力股份有限公司 |
| 出國類別 | <input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等) | |
| 出國期間：106年09月18日至106年09月23日 | | 報告繳交日期：106年11月09日 |
| 出國計畫主辦機關審核意見 | ■1.依限繳交出國報告 ■2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」) ■3.無抄襲相關出國報告 ■4.內容充實完備. ■5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____ | |
| | <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式: | |

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

| | | | | | |
|-----|--|-----|------|------------|-------------|
| 報告人 | | 審核人 | 單位主管 | 專業 總工程師 | 總經理 副總經理 |
|-----|--|-----|------|------------|-------------|

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：PM2.5 防制技術與空污相關管制措施研習

頁數 21 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳文豪/台灣電力股份有限公司/環境保護處/專員/02-23667223

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：106 年 9 月 18 日至 106 年 9 月 23 日

出國地區：日本

報告日期：106 年 11 月 9 日

分類號/目

關鍵詞：空氣品質控制系統(AQCS)、選擇性觸媒脫硝(SCR)、排煙脫硫系統(FGD)、靜電集塵器(ESP)、除汞

內容摘要：(二百至三百字)

近年各界逐漸關注 PM_{2.5} 造成環境及人體健康等危害影響，且認為火力電廠空污排放為 PM_{2.5} 之主要貢獻來源，因此，各地方政府擬陸續加嚴電力設施空氣污染物排放標準，進一步降低 PM(粒狀污染物)之排放標準，此外，汞對人體之危害極大，如何透過空污防制技術降低燃煤電廠汞的排放，亦為近年空污管制之重點。基此，爰藉由此次赴三菱日立電力系統公司(MHPS)瞭解最新對於 PM_{2.5} 防制技術(移動電擊式/濕式靜電集塵器等)、除汞技術及相關設備，並至中部電力公司之碧南火力電廠參訪，瞭解電廠實務上空污防制之相關作為，以作為本處日後規劃各火力電廠 AQCS(空氣品質控制系統)之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

頁次

| | |
|----------------|----|
| 壹、出國目的 | 2 |
| 貳、過程 | 4 |
| 參、實習內容 | |
| 一、前言 | 5 |
| 二、靜電集塵器防制技術 | |
| 1. 移動電極式靜電集塵器 | 8 |
| 2. 濕式靜電集塵器 | 9 |
| 三、排煙脫硫系統 | 12 |
| 四、脫硝技術 | 14 |
| 五、除汞技術 | 15 |
| 六、低氮氧化物燃燒器及粉煤機 | 18 |
| 肆、心得及建議 | 20 |

壹、出國目的

我國能源政策發展目標為 2025 年天然氣發電佔比 50%、燃煤佔比 30%及再生能源佔比 20%，也就是說，除了全力發展再生能源與擴大天然氣發電外，傳統的燃煤電廠仍然是我國非常重要的電力來源，而空氣品質控制系統(Air Quality Control System, AQCS)是現代化燃煤電廠不可或缺的污染防制設備，主要包含脫硝(選擇性觸媒還原脫硝，SCR)、除塵(靜電集塵器，ESP)及脫硫(排煙脫硫，FGD)等相關製程等，而各項防制設備的效率關係到空氣污染物的排放及未來電廠營運甚鉅，尤其面對日趨嚴格之相關法令要求及外界高度期待，引進世界先進之 AQCS 控制系統進一步抑低空氣污染物排放是燃煤發電廠極為重要之課題。

外界近年來關注燃煤電廠的空污議題主要為 PM_{2.5}，PM_{2.5}是指空氣中粒徑小於或等於 2.5 微米之懸浮微粒，約等於 1/28 的頭髮粗細，為懸浮微粒(PM)的組成之一，因其粒徑較小，一般通稱為細懸浮微粒，這些微粒無法被鼻腔中呼吸道的纖毛所捕捉，人體若是吸入會直接進入肺部，深入肺泡，而微粒表面附著的有害物質、重金屬等也會隨之進入人體，造成極大的傷害，所以各地方政府擬陸續加嚴電力設施空氣污染物排放標準，進一步降低 PM(粒狀污染物)之排放標準。

PM_{2.5} 的形態有固態顆粒或液滴，皆可能由自然界或人為產生，依來源可分為原生性 PM_{2.5}及衍生性 PM_{2.5}。原生性 PM_{2.5}係指排放至大氣時即為 PM_{2.5}微粒，本公司電廠煙道所排放的粒狀污染物即包含原生性 PM_{2.5}；而衍生性 PM_{2.5}則為前驅物(包含氮氧化物，二氧化硫，三氧化硫，氨，揮發性有機化合物等)在環境中經過一系列光化反應後成為 PM_{2.5}微粒，因此電廠煙道所排放的氮氧化物及硫氧化物為 PM_{2.5}前驅物之一，故在探討降低 PM_{2.5}之排放時，除了除塵技術，還會一併瞭解觸媒脫硝及排煙脫硫等相關設備。

台中電廠是我國最重要的燃煤發電廠，除了提供穩定的電力之外，身為中

部地區大型空污來源，對於如何進行污染物減排亦倍受各界關注，該廠除了需考量環保排放標準持續加嚴之外，更須考量在全廠排放總量不變的前提下滿足增建機組的需求，因此，除了刻正推動的中#1~4 機空污改善計畫之外，進一步研究降低中#5-10 機組空污排放濃度及總量已刻不容緩。

本次赴三菱日立電力系統公司(MHPS)進行實習，該公司目前正辦理本公司台中電廠#1~4 號機空污防制系統改善工作，對於火力電廠空氣污染防制設備有眾多實績，透過此次研習可瞭解該公司最新之粒狀物防制技術、除汞技術及相關設備，可作為本處將來規劃各火力電廠 AQCS 改善之參考。

此次除赴三菱日立電力系統公司工場瞭解最新之空污防制技術與設備，更至中部電力公司旗下的碧南火力發電廠參訪，該廠為滿足當地民眾期待及更為嚴苛之空污排放標準，防制設備除了採用低溫靜電集塵器外，更於脫硫設備後端另外加裝了濕式靜電集塵器，可進一步去除更細微之粒狀物，將 PM 排放濃度降至 $1\sim 2\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，對於本公司即將展開的台中電廠#5-10 號機 AQCS 改善規劃具有極高之參考價值。

貳、過程

前往國家：日本

出國日期：106年9月18日至106年9月23日

| 起迄日 | 行程 | 工作內容 |
|---------------------|--------|------------------------|
| 106.09.18 | 台北→廣島 | 往程 |
| 106.09.19~106.09.20 | 廣島縣吳市 | 赴吳工場實地觀摩及研習 |
| 106.09.21~106.09.22 | 廣島→名古屋 | 交通移動，赴碧南發電廠進行設備現場觀摩及討論 |
| 106.09.23 | 名古屋→台北 | 返程 |

參、實習內容

一、前言

此次實習行程造訪三菱日立電力系統公司(MHPS)的吳工場及中部電力公司的碧南火力發電廠，以下就這兩處地點概略介紹：

三菱日立電力系統公司係由三菱重工的能源環境領域及日立製作所的電力系統部門於 2014 年 2 月合資所成立的一間整合電力設備公司，雖然成立時間不長，卻因其特殊的背景，擁有三菱及日立兩間公司過去的技術及經驗，MHPS 公司所生產的空氣污染防制設備已提供給全球 78 個國家，數千部發電機組使用，光是台灣就包括 105 部機組之 SCR、57 部機組之 ESP 及 5 部機組之 FGD(如圖 1.所示)，對於火力電廠空污管制這塊領域可說是經驗相當豐富，為了建構環境友善企業，該公司亦通過由勞氏公司驗證的環境管理系統。

這次透過拜訪工場與技術人員訪談，經由討論的方式瞭解到目前業界 AQCS 的最新技術，對於規劃既有或新設電廠整體性空氣污染防制策略有相當大的幫助。

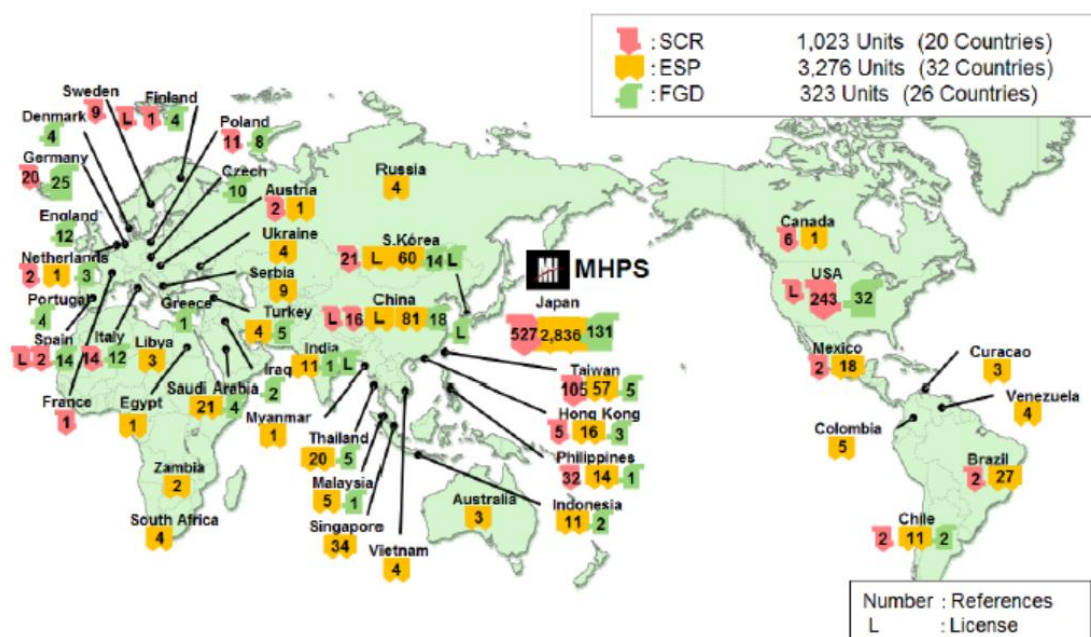


圖 1.三菱日立電力系統公司的空氣污染防制設備實績

三菱日立電力系統公司在日本的製造工場遍佈本州、九州、四國及北海道，這一次實習造訪的是位在廣島縣的吳工場，吳工場又可再細分為第一、第二及安芸津三座工場(分佈位置如圖 2.所示)，第一工場主要生產爐管(pipe)、粉煤機(mill)、熱交換器及低氮氧化物燃燒器(LNB：Low NOx Burner)等設備，台中電廠目前#1~4 機的 LNB 即在此工場生產；第二工場主要將第一工場生產的部件進行後段組裝，再透過拖拉船方式將成品海運到其他港口後出口至其他國家或地區，比較特別的是，這座工場保留著過去在第二次世界大戰期間製造大和號戰艦砲管的坑道，平淡的外觀蘊含著豐富的歷史故事，目前該坑道已改建為空壓機等廠房設備的存放區；安芸津工場離第一跟第二分場較遠，車程移動需耗費一小時，目前主要生產 SCR 的觸媒，包括板式(以前日立技術)及蜂巢式(三菱自有技術)兩種觸媒，有提供焚化爐使用的，也有供電廠使用的，過去亦曾供貨給台中電廠，此外，該場區靠海邊有一研究設施，有完整的電廠全套設備，等同於一座小型發電廠，可供客戶測試不同條件下的設計組合。

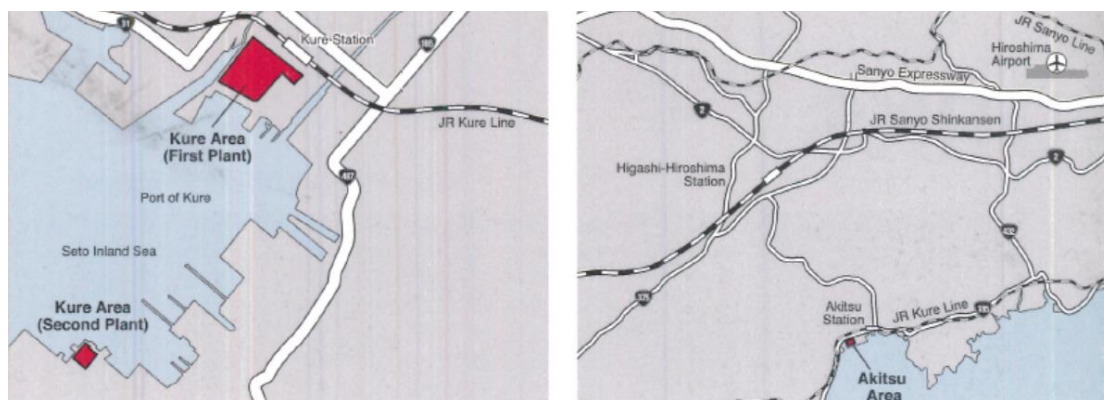


圖 2.吳工場之三座分場分佈位置

碧南火力發電廠位於愛知縣碧南市，目前擁有五部發電機組，第 1 到 3 號機裝置容量各 700MW，第 4 及 5 號機各 1000MW，總裝置容量達 4,100MW(規模與本公司大潭發電廠差不多)，第 1 至 3 號機於 1991~1993 年商轉，後續因應電力需求的增長，於 2001~2002 年加入第 4 及 5 號兩部容量更大的機組，目前為日本國內最大之燃煤發電廠，該廠於汽力機廠房頂部設有參觀平台，可一覽全

廠區及週邊地區之面貌(如圖 3.所示)。



圖 3. 碧南發電廠的週邊環境，右方為灰塘

在廠區週界空氣污染防制部分，該廠的煤場屬於室外型，為了抑制海風吹襲產生揚塵而採用防塵網牆包圍，同時定期對煤堆噴水以進一步防止揚塵，這些方式皆與我國的台中電廠相同，煤灰的部分則是以傾卸卡車載運至靠海邊之新生地填海造地，可能因為填灰的量不多，並未見到運輸卡車有採取覆蓋防塵布或網等防塵措施。

在空氣污染防制設備的部分，主要包括 SCR、乾式 ESP、FGD 及濕式 ESP，如圖 4. 所示，與傳統燃煤發電廠最大的不同是該廠在 FGD 後方加裝了一部濕式 ESP，據現場技術人員告知是為因應當地民眾之期待，所以公司決定在污染控制方面做到更低的粒狀物排放，其實以既有的防制設備即可符合法規排放標準，有關濕式 ESP 的技術將在下一章節詳細介紹。

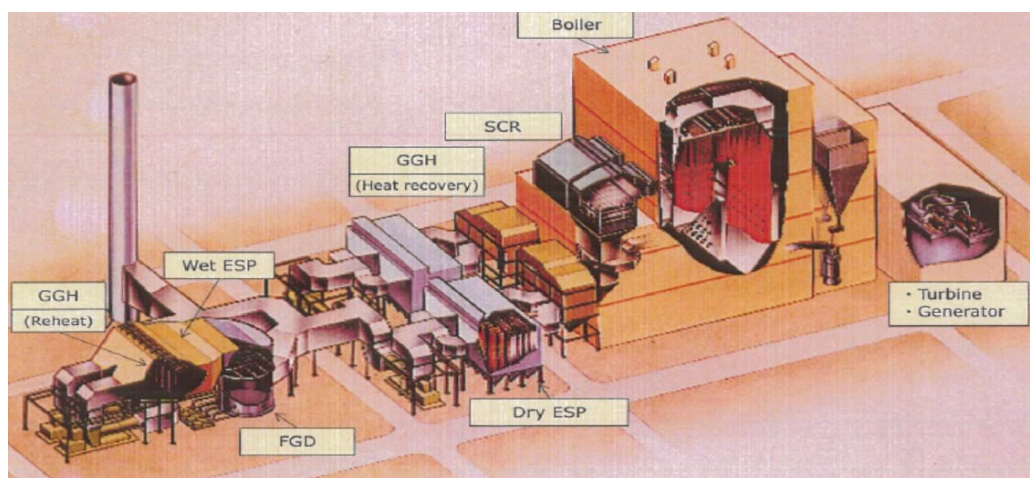


圖 4. 碧南發電廠空氣污染防制設備配置

二、靜電集塵器防制技術

1. 移動電極式靜電集塵器

靜電集塵器是去除煙氣中粒狀污染物(PM, particle matter) 的主要設備，而 PM_{2.5}指的是空氣中粒徑小於或等於 2.5 微米之微粒，當然也屬於 PM 的一部分，因 PM_{2.5}發展歷史較短，對於其在煙道中的特性還有很多論述，但可以確定的是，傳統靜電集塵器主要是去除顆粒較大的粒狀物，故當廢氣中整體 PM 濃度降低時，PM_{2.5}所佔的比例將相對增加，當然，以 PM 總量來看，PM_{2.5}還是有一定程度減少，因此現階段為了達到降低 PM_{2.5}濃度，通常先以降低 PM 總量為最直接的控制方式。

因為 PM_{2.5}是相當小的微粒，當粉塵被固定型(fixed)乾式靜電集塵器捕捉後，會因為敲擊(以敲擊方式將極板上附著的粒狀物震落到灰斗中)而使較細微的顆粒(PM_{2.5})發生再揚起現象，為了解決這個問題，MHPS 開發了 MEEP(Moving Electrode Electrostatic Precipitator)：移動電極式靜電集塵器，在 MEEP 中，集塵板表面收集的粉塵是由另外加裝的滾輪帶動刷子刮下來而非透過敲擊(參見圖 5.)，且透過將固定式電極板改為移動式，進一步提高了集塵的效果，這樣的除灰方式可使 MEEP 達到更高的效率(大幅降低粉塵再揚起的現象)，使用 MEEP 後在 ESP 出口量測到的粉塵濃度可低到 10mg/Nm³，而這個數值是世界上乾式 ESP 當中的最高水準。

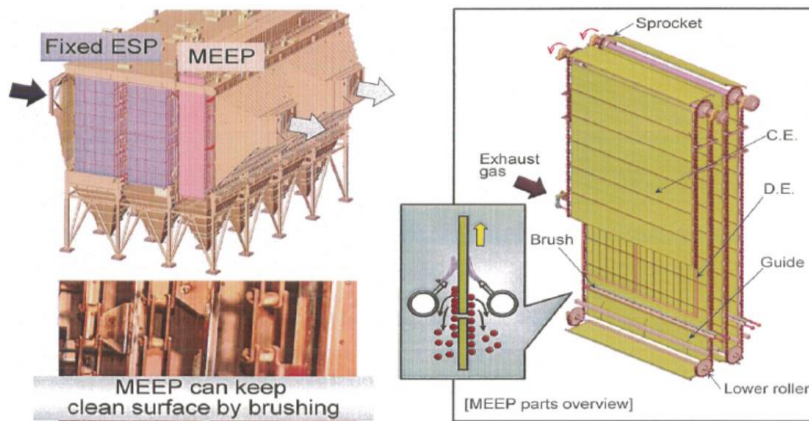


圖 5. MEEP 設計原理

2. 濕式靜電集塵器

濕式靜電集塵器(Wet Electrode Precipitator)是 MHPS 公司開發的一套高效率除塵技術，其原理在放電、集塵板收集的部分皆與傳統乾式靜電集塵器無顯著差異，惟在敲擊部分改為用水洗，係利用噴水沖洗的一種除塵方式，特化的噴霧對細懸浮微粒之抑制有一定程度的幫助，副產物也由灰變成廢水，濕式靜電集塵器與傳統乾式靜電集塵器的除塵機制差異可參考圖 6，因為最主要的目的是去除更細小之塵粒，所以通常裝設在傳統 FGD 後方(如圖 7.)，而於 ESP 出口後，透過 GGH(Gas-gas heater，空氣加熱器)加熱後將排煙溫度提升到 90 度以上再排放，以免產生白煙。

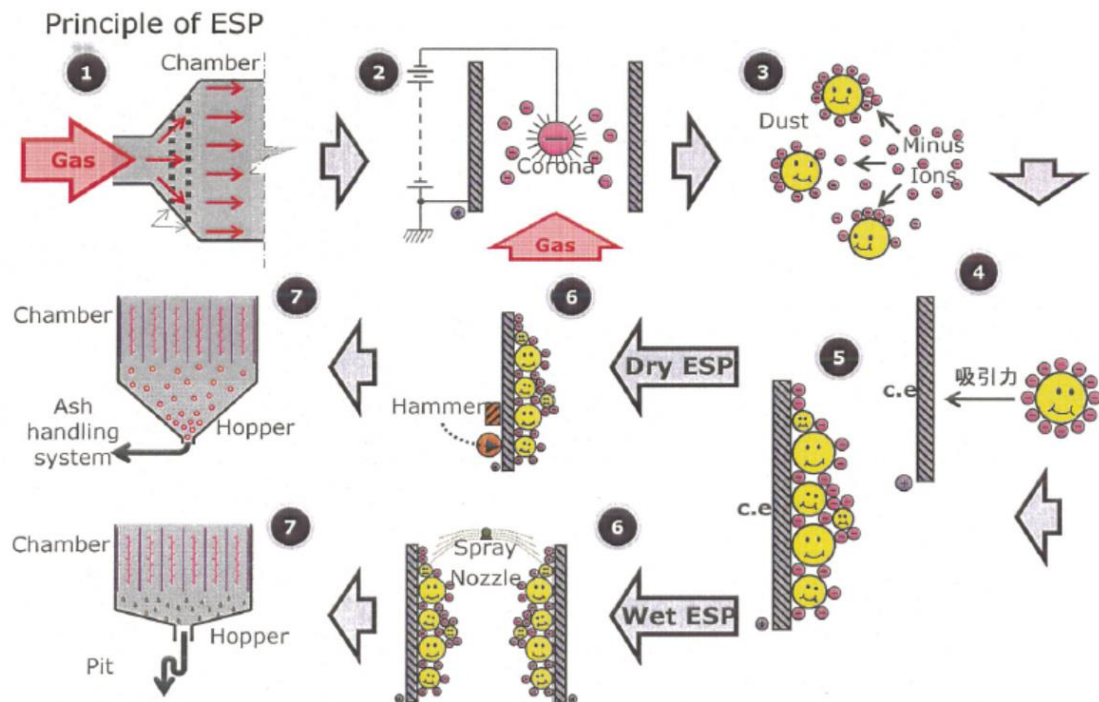


圖 6. 乾式 ESP 與濕式 ESP 之除塵機制差異

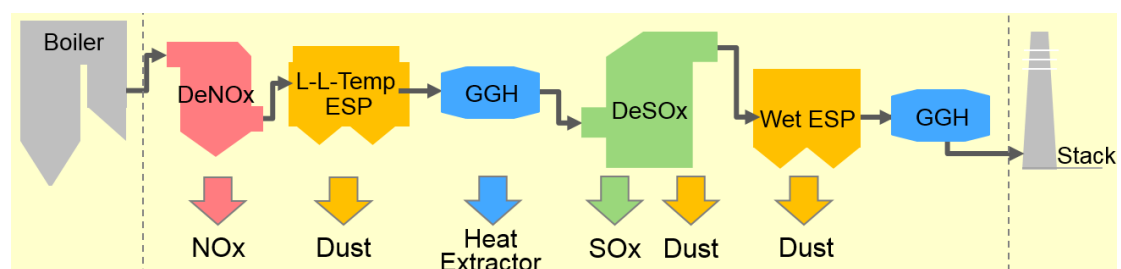


圖 7. 濕式靜電集塵器的位置示意圖

濕式靜電集塵器的特色有：

- 可靠度高：從 1980 年使用以來，未曾發生過重大問題。
- 除塵效率高：煙道出口粒狀物濃度低於 5 mg/Nm^3 。
- 穩定：可連續操作，不須停機清洗。

然而此方式需要使用到沖洗水及廢水處理系統，再加上因為煙氣中可能含有酸性物質，槽體必須選擇像不鏽鋼這種能夠抗腐蝕的材料，此外，當氣體中含有酸性物質時，濕式 ESP 需添加 NaOH 或 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 這類鹼性藥劑來中和循環水之 pH 值，恰巧電廠在廢水處理廠本身就會使用這一類藥劑，故可一併納入考量。

目前 MHPS 在日本國內有使用濕式 ESP 實績的電廠有武豐及碧南發電廠，碧南發電廠第四號機之濕式靜電集塵器配置在 FGD 後端，GGH 前，因為後段溫度已不高，故其體積並未如前段乾式 ESP 般龐大，如圖 8 所示。

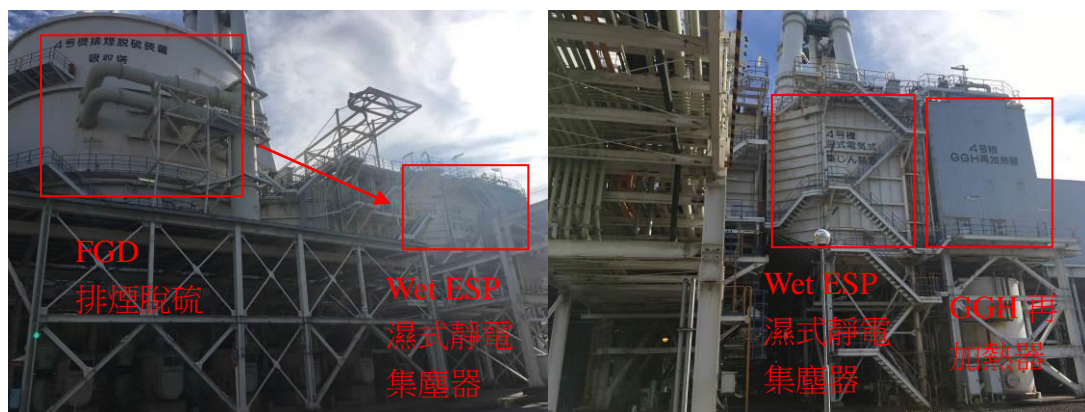


圖 8. 碧南發電廠第四號機濕式靜電集塵器前後配置

碧南發電廠濕式 ESP 之規格如下：

- 效率(粉塵濃度)：ESP 入口濃度 5 mg/Nm^3 ，出口濃度 3.5 mg/Nm^3 ，此為設計保證值，實際監測值僅為 $1 \sim 2 \text{ mg/Nm}^3$ 。
- 用水量：每小時最大 91.9 噸，當中的 81.6 噸是 ESP 內部循環使用，10.3 噸作為排放及補充水。
- 排放水量：每小時 10.3 噸，排放的廢水會送到脫硫系統(FGD)再利用，且因為重複利用，實際廢水量應會更小。
- 濕式 ESP 的尺寸：每個 ESP 組有四個室，可對應一個鍋爐使用，集塵板總

面積 6912 m²。

在 MHPS 濕式 ESP 的實績中，裝設於燃煤電廠的比例只佔約 10%，經詢問該公司之國內集塵器裝置計畫課主席表示，因為目前法規標準尚無嚴苛到需要使用到此技術，以傳統防制設備已足以因應，所以在 ESP 領域中使用量不大，但可以預見在標準只會更嚴苛的將來，濕式 ESP 的使用率將會逐漸提高。

綜合上述，以要補捉較小的粒狀物(PM_i)來看，補捉效率(圖 9.)由高到低依序為：

- ◆ Wet ESP(濕式靜電集塵器)
- ◆ MEEP(移動電極式靜電集塵器)
- ◆ bag filter(袋式集塵器)
- ◆ dry ESP(傳統乾式靜電集塵器)
- ◆ Scrubber(洗滌塔)
- ◆ 最差的 cyclone(旋風集塵器)則幾乎無去除效果

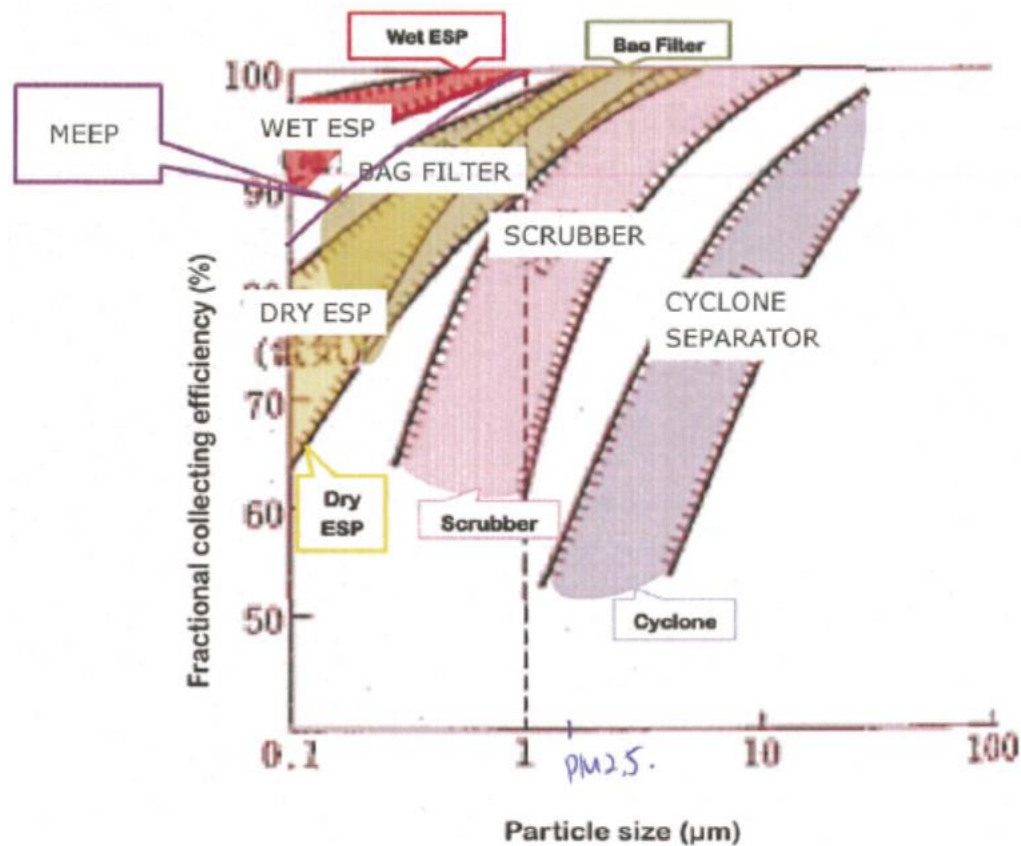


圖 9. 收集效率與粒徑大小關係圖

由圖可知，若要去除較小的粒狀物，濕式 ESP 與 MEEP 是最好的兩種設備，茲將 MEEP 與濕式 ESP 的特點整理如下：

| | MEEP | Wet ESP |
|------------|--|--|
| 移除粉塵機制 | 刷除 | 噴水 |
| ESP 出口粉塵濃度 | $\leq 10 \text{ mg/Nm}^3$ | $\leq 5 \text{ mg/Nm}^3$ |
| 特色 | 既有設備可延用 省空間 無壓降問題 與中#1~4 機之方式相同 | 必須要有水洗設備 需要額外空間 需要額外輸送管線 壓降增加 |

三、排煙脫硫系統

目前商業市場上的排煙脫硫技術大致有下列幾種方案：

- 濕式
 - 石灰石法
 - 海水脫硫法
 - 鈉基吸收法
 - 鎂氧化物法
- 乾式
 - 活性碳法
 - 電子光束法
- 半乾式
 - 滌氣法

而其中應用最廣且技術純熟的當屬濕式石灰石法，我國大多數的發電廠也採用此方法，其次為海水脫硫法。

MHPS 公司目前的石灰石法技術有兩種，第一套為過去 Mitsubishi 所開發的 DCFS(Double Contact Flow Scrubber，二次接觸煙流洗滌塔)，特點為煙氣

與噴漿液同向，因為噴漿液設計成向上噴注，在煙氣與噴漿液第一次接觸後，噴漿液會因重力關係向下墜落，此時再與上升的煙氣進行第二次接觸，即可有效提升其反應面積及時間(如圖 10.所示)。

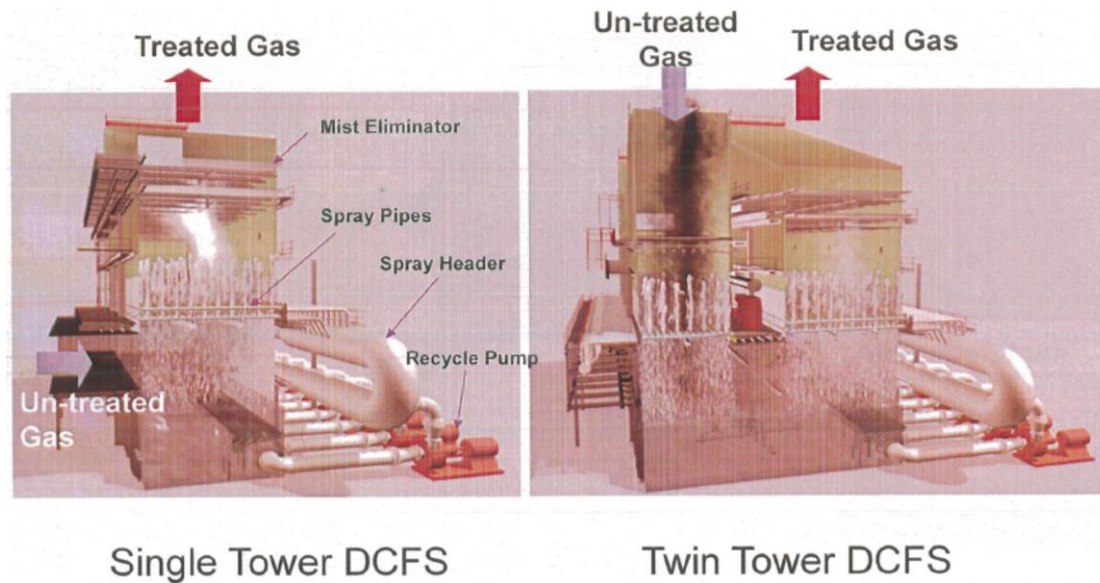


圖 10. DCFS 設計概念

第二套則為 Hitach 所開發的 Open Spray Tower(噴霧塔)技術，這套技術是市面上比較常見的形式，煙氣由下往上流，噴漿液由上往下噴灑，以達到氣液相接觸吸附之目的。

此兩套技術各有其優劣，DCFS 在煙氣中 SO_2 濃度較高時也有很好的效率，而 Open Spray Tower 的應用範圍則較廣，如圖 11.所示。




| Mitsubishi | Hitachi | Optimization |
|--|---|--|
| <p style="text-align: center;">● DCFS</p>  | <p style="text-align: center;">● Open Spray Tower</p>  |  |
| <p>Absorbent sprays upward like a fountain from lower side of Absorber</p> <p style="text-align: center;"><u>106</u> units</p> | <p>Absorbent sprays downward from upper side of Absorber</p> <p style="text-align: center;"><u>64</u> units</p> | |

圖 11. 兩種 FGD 吸附塔技術之比較

除了新設備的介紹，因為電廠可能在除役年限考量下，無法採購全新的設備，故我們更關心是否有針對既有電廠設備效率提升的方案，以 FGD 來說，MHPS 公司建議下列解決方案：

- 至少要將目前使用的噴嘴及其管線更換；
- 視既有設備之效率檢測結果及需求效率，可再研究更換吸收再循環幫浦、除霧器、吹氧器或是增加多孔托盤等方式進行改善。

四、脫硝技術

目前火力電廠應用最廣的脫硝技術當屬 SCR(選擇性觸媒還原脫硝)，此行也特別規劃赴 MHPS 公司位於廣島縣的安芸津工場研習，與該場技術人員討論有關 SCR 操作及觸媒相關議題，該場目前生產板狀及蜂巢狀觸媒供應歐美及日本當地客戶，板狀觸媒因構造設計較能耐灰的磨損，可減少噴氨量，壽命亦較長，故燃煤電廠多使用此類，製造方式為將氧化鈦塗佈在不鏽鋼層，再與活性劑混合後，放入模塊(每塊約有 70 層觸媒)裡出貨，MHPS 針對不同燃料性質提供客戶合適的觸媒解決方案可參閱圖 12.。



圖 12. 觸媒形式比較

此外，SCR 在操作上，常常會有過量注氨的問題存在，針對此，MHPS 公司提供下列建議：

- ◆ 複循環機組因廢氣由 SCR 處理後，直接從煙囪排放，若注氨過量有可能造

成臭味，MHPS 表示過量的氨並不會成為一個問題，因為 SCR 在設計時就有要求操作設備時應使洩漏氨的濃度低於設計值，以達最佳去除效果。

- ◆ 汽力機組注氨過量常造成後端空氣預熱器(APH, Air pre-heater)阻塞，MHPS 建議為了預防結塊堵塞，一般會週期性的進行吹灰，當 APH 發生堵塞時 (APH 壓損快速增加)，鍋爐必須停爐進行 APH 元件的清洗或更換，此與本公司電廠目前的操作模式一致，原則上只要在 SCR 設計條件下操作，就可避免注氨過量的情形。

另外針對既有電廠設備效率提升的方案，以 SCR 來說，MHPS 公司建議下列解決方案：

1. 提高觸媒接觸面積。
2. 改變觸媒的樣式，例如：增加觸媒板在每一觸媒箱中的數量，或是改變觸媒成份等等。

另外，若是想一併提升汞的去除效果，其中一項已被驗證之方法為將觸媒形式換成高汞氧化觸媒，這部分會在後面的除汞技術部分詳細介紹。

最後，廢棄 SCR 觸媒佔本公司燃煤電廠的廢棄物比重相當高，近年來循環經濟議題逐漸熱門，如何減少廢棄觸媒量亦是本公司將來的課題，恰巧 MHPS 公司對此亦有著墨，針對觸媒再生處理技術，MHPS 目前的實績有台塑跟德國的電廠(現地 on-site 再生)，惟是否適合使用再生觸媒須依據客戶之需求進行綜合評估，來決定要用新品或是再生品，因為客戶未必清楚兩者之差異，再生品亦有其再生極限，不可能無止盡再生循環無廢棄物產生，且再生觸媒的壽命較全新品為短，成本可能反而會較高。

五、除汞技術

汞是已知對人體有重大危害之重金屬，在探討煙氣管制的領域時，會對汞的三種形態進行研究：

- ◆ 顆粒汞：可以附著在粒狀污染物上，隨著 ESP 被收集到灰中去除。

- ◆ 元素汞：目前僅有活性碳吸附的方式可捕捉，而活性碳的成本極高。
- ◆ 氧化汞：可溶於水，故可以被 FGD 捕捉下來。

由圖 13.可瞭解到，煤炭中一般會含有少量重金屬，包括汞，汞一開始的形態主要為元素汞，在進入鍋爐發生燃燒反應及經過 SCR 催化後，大部分的汞將被轉化為氧化汞，氧化汞可以在 FGD 被溶於水中捕捉下來，成為 FGD 廢水的一部分，而顆粒汞則是在進入 ESP 後隨著灰被捕捉下來，最後剩下無法捕捉的少量元素汞則隨著煙氣排出，元素汞相當難去除，氧化汞很容易去除，所以將汞盡可能轉化為氧化態是除汞最重要的機制，而傳統除汞的方式在 SCR 段會因為觸媒使 SO_2 轉化為 SO_3 ， SO_3 跑到了 FGD 段會促使氧化汞再轉化回元素汞，因此 MHPS 規劃的 TRAC®高汞觸媒氧化技術在 SCR 段即降低 SO_2 轉化率，以抑制 FGD 段氧化汞再轉化為元素汞，在同樣的 SO_2 轉化率下可得到更高的汞氧化率，如圖 14 所示，若只是要使煙囪出口的汞濃度降到 $10 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，則使用傳統 AQCS 即可，若要降到 $2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，則可以考慮 MHPS 公司的 TRAC®技術。

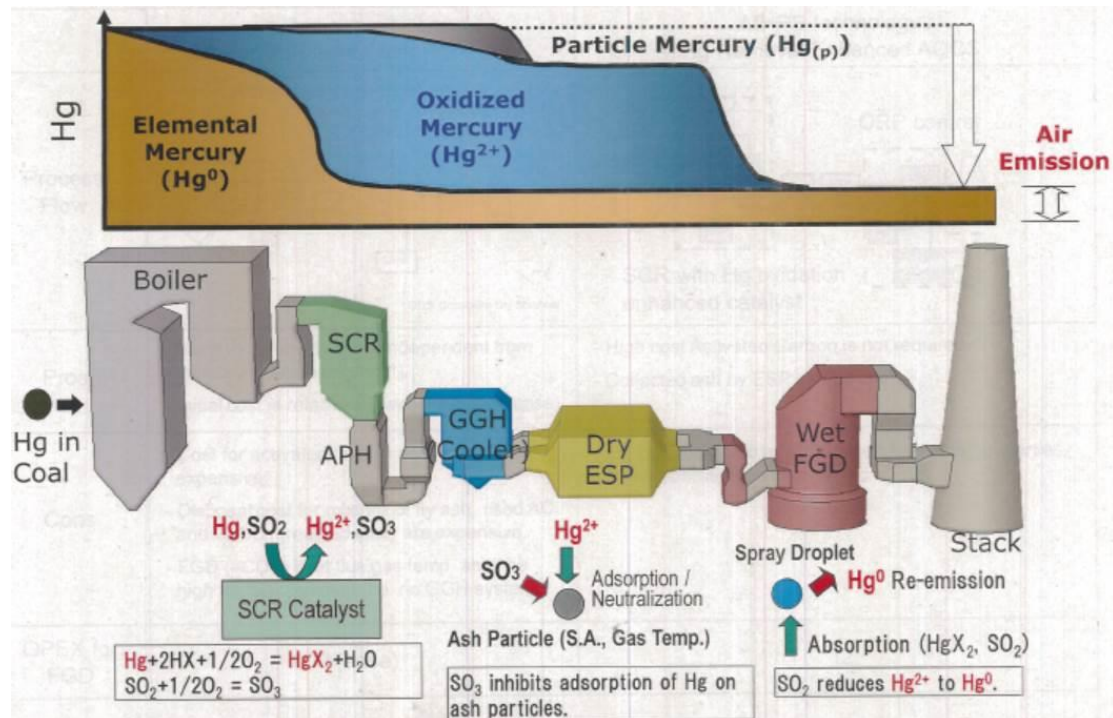


圖 13. 汞在各階段的組成形態

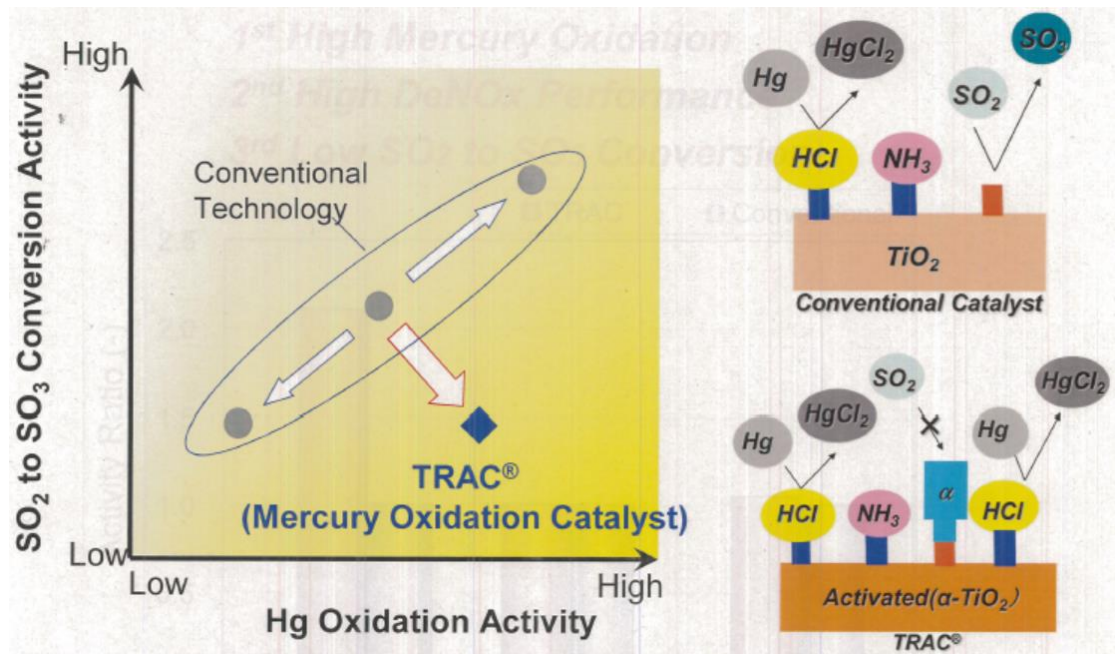


圖 14. TRAC®高汞觸媒氧化技術

茲整理目前商業市場上較為常用的除汞技術如下表：

| 方法 | 物品 | 優點 | 缺點 | 運維費用 |
|-------|---|--|--|--------------------|
| 吸附 | 活性炭注入 Activated Carbon Injection (ACI) | 高除汞效率 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 高運維費用 2. 灰的處理較困難 3. 建置成本較高 4. 較不易操作及維持 5. 對於高硫份的燃煤除汞效率差 | 1000MW 等級，每年約數百萬美元 |
| 氧化+吸附 | 鹵素注入 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 設備簡單 2. 高除汞效率 3. 低運維費用 | 必須搭配濕式 FGD | 1000MW 等級，每年約數十萬美元 |
| | 觸媒氧化 (MHPS 的 TRAC®) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 低運維費用 2. 不需要額外附加設備 3. 更換簡易 4. 高可靠度 | 必須搭配濕式 FGD | 視觸媒氧化操作而定 |

六、低氮氧化物燃燒器及粉煤機

前面章節多介紹空氣污染防制設備的部分，然而前段鍋爐燃燒狀況的好壞對於後段防制設備的設計更為關鍵，故在規劃 AQCS 改善作業時，通常會一併考量前段燃燒製程，在前段改善的部分，MHPS 公司針對燃燒器(burner)及粉煤機(mill)提出下列改善建議：

1.LNB(Low NO_x Burner，低氮氧化物燃燒器)

LNB 特色：

從燃燒理論來說，低溫燃燒可以降低 CO 產生，但是會造成未燃碳(UBC)增加，使燃燒效率下降，所以為了兼顧經濟及環保，衍生出了 LNB 工法，MHPS 開發的 LNB 技術已發展到第三代(HT-NR3，圖 15.)，較傳統分道燃燒器降低了 60% NO_x 的產生，特色為高溫火焰，調整富燃的狀況以達到低氮氧化物產生。

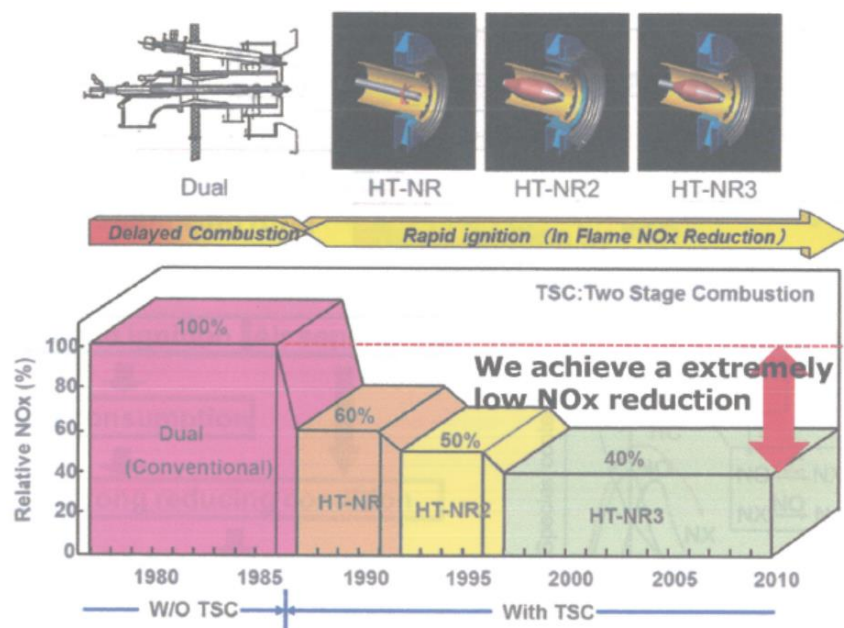


圖 15.LNB 進化歷程

2.粉煤機(mill)

MPHS 公司的粉煤機粉碎機制主要分成兩階段，當煤料進入粉煤機後，會先被滾輪(roller)磨碎成為煤粉，由外側吹氣上升，上升過程中會有部分較重的

煤粉因重力(gravity)掉落回磨床(grinding table)繼續磨碎，此為第一階段分選，其餘粉煤會繼續上升至轉動式分選機(rotary classifier)，藉由內建的一特殊分級環將其中較大的煤粉再分選出來，掉回磨床繼續磨碎，此為第二階段分選，相關組件的位置請見圖 16.，透過上述的改良機制，可提供鍋爐更均勻的煤粉，進而提高燃燒效率，台中電廠#1~4 機的粉煤機經改善後，通過 200 號篩的煤粉比例，將可從 65~68%提升至 75%。

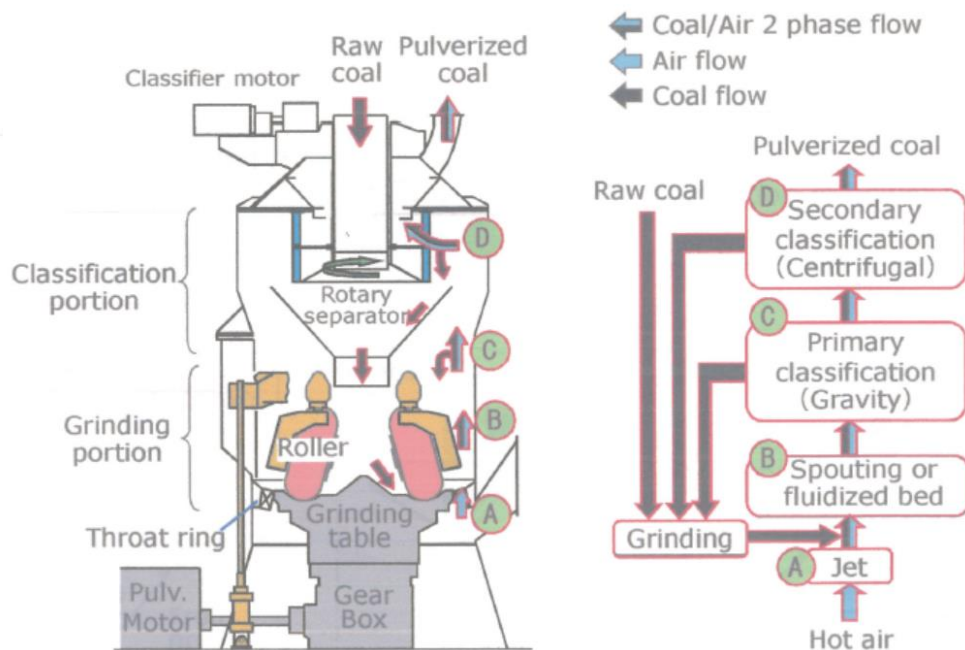


圖 16. 粉煤機作動機制

此外，針對滾輪的改良，MHPS 有設計一特別之調節軸(Pivot)，所在位置如圖 17.，Pivot 可依使用狀況自動調整，除可延長滾輪使用壽命，亦可增加粉煤穩定性(不需要經常調整)，MHPS 不生產沒有調節軸(Pivot)裝置的粉煤機，依據過去客戶回饋的資訊，在沒有調節軸(Pivot)裝置的滾輪，每兩年要換新品，每三個月要調整一次輪胎角度以使磨耗均勻。

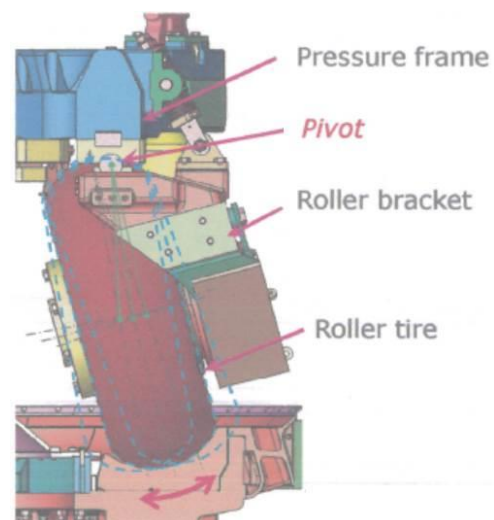


圖 17. Pivot 與滾輪位置

肆、心得及建議

對於 PM 防制設備的效率提升，依不同的出口濃度要求，建議的設備組合如下：

| 出口濃度要求 (mg/Nm ³) | 移動電極式靜電 集塵器(MEEP) | 低低溫靜電集塵 器(LL-ESP) | 濕式靜電集塵器 (Wet-ESP) |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 10 | ○(改兩倉) | -- | -- |
| 5 | × | ○ | -- |
| 2~3 | × | ○ | ○ |

目前台中#1-4 機的 AQCS 改善目標如下

| 內容 | | 改善前 | 改善後 | 削減率 |
|------------------|-------------------------|-----|-----|-------|
| 台中 #1-#4 機 | PM(mg/Nm ³) | ≤19 | ≤15 | 21.0% |
| | NOx(ppm) | ≤95 | ≤60 | 36.8% |
| | SOx(ppm) | ≤96 | ≤45 | 53.1% |

在 106 年 11 月 2 日經濟部公布的台中發電廠短、中、長期環保改善計畫中，明確揭示中期計畫將進行中火第 5 至 10 號機空污防制設備改善及升級工作，在各方的關注下，如果預期台中#5~10 機的 PM 目標值是 10 mg/Nm³，最合適的方案為將現有 ESP 中的兩倉改成 MEEP 形式，可在不增加用地面積的情況下達成此目標，若是考量保留將來空污限制的裕度，將目標值進一步降低到 5 mg/Nm³，則至少要將現有 EP 改成 LLEP(低低溫靜電集塵器)，或是考慮於 FGD 後方加裝濕式 ESP，惟此部分改變幅度更大，須考量現場空間餘裕、機組可用年限等條件，再進行綜合評估。

目前林口電廠新三機 SCR 已規劃再增加一層觸媒，因為已經與原始設計的兩層不同，依據 MHPS 所提供的經驗，要特別留意將來是否會有注氨量過多的操作問題。

此外，本公司燃煤電廠目前廢棄觸媒的處理方式分為委託原供應廠家清

除，考量再生觸媒的使用壽命較低，因此需要更換的頻率相對也較高(要搭配大修)，可再生的次數也有其使用限制(2~3 次後仍要廢棄)，反而違背了對於原本想減少廢棄物產生量的初衷，且成本相對新品而言並不具經濟效益，對於日益加嚴的環保標準來說，穩定耐用是首要考量，再生觸媒於操作上始終未能像新品般良好，故以現階段技術面而言，燃煤電廠不適合採用再生觸媒，將來的燃氣電廠因為空氣較乾淨，或許可再考慮使用再生的方式。

出國報告（出國類別：實習）

燃煤電廠空氣污染防制設備之最佳方案 規劃研習

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：張瑋潔(一般工程師)

派赴國家：日本

出國期間：106年09月18日至106年09月23日

報告日期：106年11月09日

出國報告審核表

| | | |
|------------------------------|--|-------------------|
| 出國報告名稱：燃煤電廠空氣污染防治設備之最佳方案規劃研習 | | |
| 出國人姓名(2人以上,以1人為代表) | 職稱 | 服務單位 |
| 張瑋潔 | 一般工程師 | 台灣電力股份有限公司 |
| 出國類別 | <input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等) | |
| 出國期間：106年09月18日至106年09月23日 | | 報告繳交日期：106年11月09日 |
| 出國計畫主辦機關審核意見 | <input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____ | |
| | <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式: | |

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

| | | | | | |
|-----|--|-----|----------|-------------|---------------|
| 報告人 | | 審核人 | 單位 主管 | 專 業 總工程師 | 總 經 理 副總經理 |
|-----|--|-----|----------|-------------|---------------|

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：燃煤電廠空氣污染防制設備之最佳方案規劃研習

頁數 27 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張瑋潔/台灣電力股份有限公司/環境保護處/一般工程師/02-23667209

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：106 年 9 月 18 日至 106 年 9 月 23 日

出國地區：日本

報告日期：106 年 11 月 09 日

分類號/目

關鍵詞：coal-fired power plant、AQCS(Air Quality Control System)、SCR(Selective Catalytic NOx Reduction)、FGD(Flue Gas Desulfurization)、EP(Electrostatic precipitation)

內容摘要：(二百至三百字)

基於燃煤發電仍於我國未來能源發展藍圖中占有一席之地，為使本公司未來燃煤電廠既有或新設機組能符合最新相關法規及維持運轉餘裕度，本次前往日本拜訪三菱日立電力系統株式會社所轄吳工場及日本中部電力公司所轄碧南火力發電廠，透過實質討論及經驗交流回饋，從中瞭解日本燃煤電廠於規劃設計階段至運轉階段之脫硝、除塵、脫硫等空氣污染防制設備配置考量因素及相關細節，以作為本公司後續燃煤電廠既有或新設機組於研擬相關空氣污染防制設施之最佳配置參考依據之一。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目次

頁次

| | |
|-----------------------------|----|
| 壹、出國目的 | 1 |
| 貳、實習行程 | 2 |
| 參、實習內容及心得 | 3 |
| 一、 MHPS 公司-吳工場..... | 3 |
| (一)第一工場(First Plant)..... | 3 |
| (二)第二工場(Second Plant) | 4 |
| (三)安芸津工場(Akitsu area) | 4 |
| 二、 中部電力公司-碧南電廠 | 11 |
| (一)整廠景觀及環境友善措施..... | 14 |
| (二)AQCS 配置 | 15 |
| 肆、建議事項 | 26 |

圖表目次

頁次

| | |
|---------------------------------------|----|
| 圖 1、與安芸津工場道平部長合影 | 5 |
| 圖 2、觸媒塊示意(左)平板式(右)蜂巢式 | 5 |
| 圖 3、觸媒再生處理步驟 | 7 |
| 圖 4、觸媒再生處理活性比較 | 7 |
| 圖 5、傳統燃煤電廠汞去除程序及相關抑制因素 | 9 |
| 圖 6、TRAC 型觸媒 | 9 |
| 圖 7、高效率 AQCS 汞處理途徑示意 | 10 |
| 圖 8、碧南電廠全廠配置圖 | 12 |
| 圖 9、碧南電廠全廠鳥瞰圖 | 12 |
| 圖 10、碧南電廠輸煤系統流程 | 13 |
| 圖 11、碧南電廠及 MHPS 相關陪同人員 | 13 |
| 圖 12、碧南電廠建築配色原則 | 14 |
| 圖 13、碧南電廠環境友善設施(康復公園) | 14 |
| 圖 14、碧南電廠第 1 至 3 號機設置全貌 | 15 |
| 圖 15、傳統燃煤電廠廢氣處理流程 | 15 |
| 圖 16、碧南電廠 AQCS 系統處理流程 | 17 |
| 圖 17、碧南電廠第 4 號機濕式 FGD 吸收塔外觀 | 18 |
| 圖 18、DEP 與 WEP 去除粒狀污染物方式 | 20 |
| 圖 19、碧南電廠第 3 號機 WEP(2 室)設置示意 | 20 |
| 圖 20、碧南電廠第 4 號機 WEP(1 室)設置示意 | 21 |
| 圖 21、低低溫 DEP 於燃煤電廠空氣污染防制設備之配置方式 | 22 |
| 圖 22、低低溫 DEP 與 WDP 去除效率比較示意 | 22 |
| 圖 23、MEEP 去除粒狀污染物方式 | 23 |
| 圖 24、不同型式集塵器對於不同粒徑之粒狀污染物去除曲線圖 | 24 |
| 圖 25、碧南電廠之 GGH(冷端)設置 | 25 |
| | |
| 表 1、碧南電廠第 1 至 5 號機空氣污染物排放標準 | 16 |
| 表 2、使用不同 EP 設備組合之 PM2.5 排放濃度 | 24 |

壹、出國目的

我國 2025 年預期達到燃天然氣、燃煤及再生能源發電之占比各為 50%、30% 及 20%，顯示燃煤發電於我國能源發展基礎之重要性。而我國新建燃煤電廠於開發規劃過程中由於細懸浮微粒(以下簡稱「PM_{2.5}」)、脫硫廢水等環境議題屢遭放大審視致推行受阻，再者近年相關環境法規趨嚴及各項研究指出硫氧化物(以下簡稱「SO_x」)、氮氧化物(以下簡稱「NO_x」)為衍生性 PM_{2.5} 主要前驅物之一、硫氧化物於轉化去除過程中造成空氣污染防制設備之腐蝕等問題，顯示我國燃煤電廠現今面臨之挑戰，為使未來燃煤機組能符合最新相關法規及維持運轉餘裕度，實有必要瞭解國外空氣污染防制發展趨勢。

日本自產能源 6%，其地理特性及發電結構與我國類似，故可作為我國未來空氣污染防制規劃參考對象之一，本次出國目的為拜訪三菱日立電力系統株式會社(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD，以下簡稱「MHPS」)所轄吳工場及日本中部電力公司所轄碧南火力發電廠(中部電力碧南火力發電所，以下簡稱「碧南電廠」)：

- 一、MHPS 公司刻正執行本公司台中發電廠第 1 至 4 號機空氣污染防制設備改善工程，針對各國火力電廠空氣污染防制系統規劃與建置亦有諸多實績經驗，故可藉由本次機會進一步瞭解該公司如何於主要空氣污染防制設備(如脫硝、除塵、脫硫)運用最新技術或材料，在處理過程中減少或去除硫氧化物等空氣污染物之生成以符合最新環境法規與操作安全需求，作為本公司於後續燃煤電廠新建機組設計規劃階段研擬相關空氣污染防制設施之最佳配置參考依據，以增加環境友善性並降低開發環評阻力，本次赴吳工場瞭解最新脫硝、除塵、脫硫相關之空氣污染防制材料或技術如何直(間)接減少或去除硫氧化物等空氣污染物之生成。
- 二、碧南電廠為一運轉中之燃煤火力發電廠，藉由本次交流瞭解實廠空氣污染防制設備運作情形，透過實質討論及經驗交流回饋，對於本公司未來燃煤電廠新建機組之脫硝、除塵、脫硫等空氣污染防制設計規劃助益良多。

貳、實習行程

前往國家：日本

出國日期：106年9月18日至106年9月23日

| 起迄日 | 前往國家城市 | 工作內容 |
|-----------------------|----------|-----------------|
| 106年9月18日(一) | 台北→日本廣島 | 去程 |
| 106年9月19日(二)至9月20日(三) | 日本廣島吳市 | 赴 MHPS 公司-吳工場實習 |
| 106年9月21日(四)至9月22日(五) | 日本愛知縣碧南市 | 赴中部電力公司-碧南電廠實習 |
| 106年9月23日(六) | 日本名古屋→台北 | 返程 |

參、實習內容及心得

依據本次實習順序，茲分別說明如下：

一、MHPS 公司-吳工場

MHPS 公司成立於 2014 年 2 月，於三菱重工業株式會社與株式會社日立製作所兩家公司之火力發電系統業務統合下誕生而成，在「火力發電、環保技術照亮地球之未來」之企業願景下積極開發高效率發電設備並創新發電技術，積極開展設計(engineering)、採購(procurement)及建設(construction)業務，以逐步朝向供應全球環保與電力之目標，該公司於日本有日立、橫濱、高砂、吳及長崎等 5 工場及 9 家分公司，另於歐洲、美洲、亞洲非洲、大洋洲等各地設有服務基地，開發產品包含鍋爐(boiler)、氣渦輪機(gas turbine)、汽輪機(steam turbine)及環保設備(environmental protection equipment)等。

吳工場(KURE WORKS)位於日本廣島縣，於 1959 年成立，原是鍋爐工廠建造海軍船艦，由於過去之多元奠基，使該工場相關設計、鍛造等技術發展成熟，現改為製作及提供國內外電廠相關設備，包含鍋爐、排煙脫硫設備(Flue Gas Desulfurization, 以下簡稱「FGD」)，選擇性觸媒還原脫硝設備(Selective Catalytic NO_x Reduction, 以下簡稱「SCR」)，其鍋爐及觸媒催化劑之年製造量約 2,300 MW 及 20,000 m³，並致力發展煤炭氣化燃氣複循環氣化機(Integrated Coal Gasification Combined Cycle Gasifier)、低級煤燃燒及 CO₂ 捕獲等嶄新技術。吳工場有三大工場，本次實習皆進行觀摩，可惜基於商業機密考量，無法進行拍照，實為一大遺憾。以下為各工場之基本介紹：

(一) 第一工場(First Plant)

第一工場主要設計、製作工廠中所需之鍋爐及其他核心組件，本

次看到主要產品有鍋爐壁、鍋爐、管線、磨煤機、過熱器(superheater)、再熱器(reheater)，第一工場人員表示有時亦會生產煙氣熱交換器(Gas Gas Heater, 以下簡稱「GGH」)。

(二) 第二工場(Second Plant)

第二工場距離第一工場約 10 分鐘路程，1958 年前屬海軍管轄範圍，並製作海軍戰艦，現主要產品有氣化器、汽鼓、核能電廠反應爐、壓力容器等重件，特別的是該工場具有 3 大坑道(pit)，最深約達 21 m，直徑最大約 18 m，過去係為放置海軍砲塔，現則用來進行壓力容器之抗壓測試，惟本次實習時有一坑道已停止使用。此外，第二工場擁有全日本最大之鍛燒爐，故第一工場相關產品(如：燃燒器)亦會送至第二工場進行組裝、焊接、鍛燒及吹灰等程序，再利用懸臂放置於運送平台上，用船拖運至鄰近之貨運碼頭再裝載至貨櫃中，利用海運送至需求方。

(三) 安芸津工場(Akitsu area)

赴日本實習期間，本工場負責人為道平部長如圖 1，距離吳市第一工場約 1 小時車程。本工場主要產品為 SCR 觸媒催化劑，亦生產燃燒器觸媒及焚化爐觸媒。SCR 觸媒最開始為顆粒狀，自 1980 年開始生產平板式(plate)觸媒，並於 1987 年開始外銷歐洲，現今觸媒主要分為兩大形式：平板式(適用於燃煤電廠)及蜂巢式(honeycomb，較高表面積)，觸媒塊如圖 2 所示。



圖 1、與安芸津工場道平部長合影

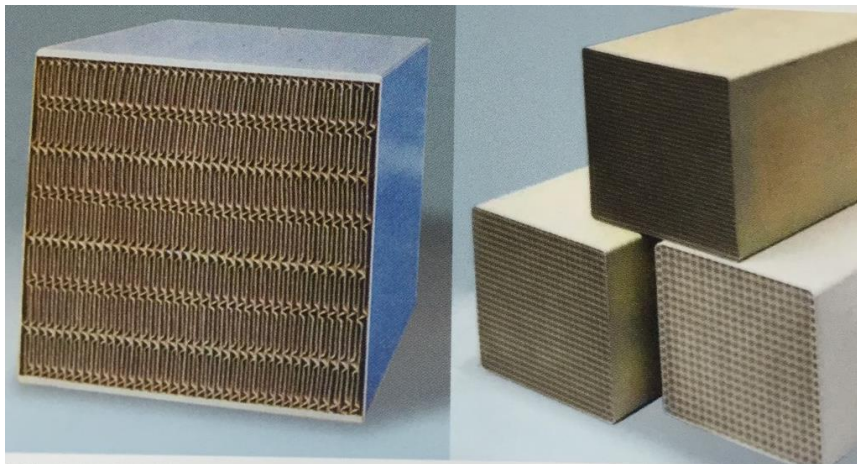


圖 2、觸媒塊示意(左)平板式(右)蜂巢式

1. 觸媒製程及再生處理

安芸津工場有 3 條觸媒催化劑生產線，主要生產平板式觸媒，年產量最高約 20,000 m³，平均約為 3,000 m³。觸媒主體為不鏽鋼網膜，製作觸媒所需之氧化鈦原料購自法國，並添加纖維、活性劑等物料作成塗料，再塗布於不鏽鋼網膜後形成橘黃色觸媒，塗布過程中會使用塑膠薄膜使貼合度夠好，再抽離回收塑膠

薄膜，最後切割成一定尺寸之觸媒板，並使用照相機判斷塗料貼合情形及尺寸大小是否符合品管要求。一觸媒塊(面積約 40 cm*40 cm)中包含 70 片觸媒板，一觸媒模組基本由 8 觸媒塊組成。以裝置容量為 600 MW 燃煤機組為例，SCR 觸媒設置約為 600 m³，如果因應更嚴格之去除效率要求，則可能達到 1,000 m³。MHPS 公司現已於杭州設置同樣規格之觸媒製造工場，並由本工場相關人員親自參與技術移轉，而使用之原料及技術均與本工場相同，年產量約 20,000 m³，作為大陸、美國及歐洲供應來源，惟仍可依據業主指定觸媒催化劑提供來源。

實習期間另請教 MHPS 公司及安芸津工場有關觸媒使用、再生處理技術及處理成本，作為蒐集本公司 SCR 運轉時衍生之臭味、阻塞、廢水等問題與 SCR 觸媒採用再生處理應考量之關鍵因素，舉例來說，安芸津工場表示以燃氣複循環機組運轉操作而言，SCR 設計階段已納入操作過程中氨的濃度須低於設計值，故不會額外衍生臭味問題；而為防過度注氨導致燃煤機組之空氣預熱器 (air preheater, 以下簡稱「APH」) 形成硫酸氫銨結塊堵塞，須定期進行吹灰，如發現 APH 壓損快速增加，則建議鍋爐必須停爐並進行 APH 元件之清洗或更換，MHPS 公司目前亦針對 SCR 所遇到之注氨逸散(NH₃ slip)問題進行產品開發研究，可讓注氨洩漏量下降，以減少後續 APH 阻塞；另外，燃煤機組 SCR 出口的 SO_x 濃度約為 20-30 ppm，如假設前述 SO_x 全被轉化為硫酸氫銨，濃度約 120-180 mg/Nm³，惟與廢氣中總懸浮微粒濃度(10-25 g/Nm³)相比仍有很大差距，故經靜電集塵器處理程序收集之煤灰中所測得之硫酸氫銨濃度不高，對煤灰再利用影響不大，即便原附著於廢氣中總懸浮微粒之硫酸氫銨經由濕式 FGD 處理程序中去除而存

在於後續 FGD 廢水中，其 NH_4^+ 增加濃度亦不高，進而不影響相關廢水處理程序。

有關 SCR 觸媒再生處理，MHPS 公司表示現已發展一套平板式觸媒再生技術(如圖 3 所示)，主要係利用現地處理方式讓用過觸媒再生後恢復其活性，處理再生步驟包含：除塵、毒物消除、乾燥、活性成份注入、乾燥等，如下圖所示。經過實測後，觸媒的活性可再生回復到接近新品水準(圖 4)，然而再生次數仍有限制。本工場表示與台塑公司有合作之實績，並強調觸媒再生處理需考量整體條件，如煙氣、其他條件限制、再生壽命等，其再生處理成本可能跟購置新品相去不遠。

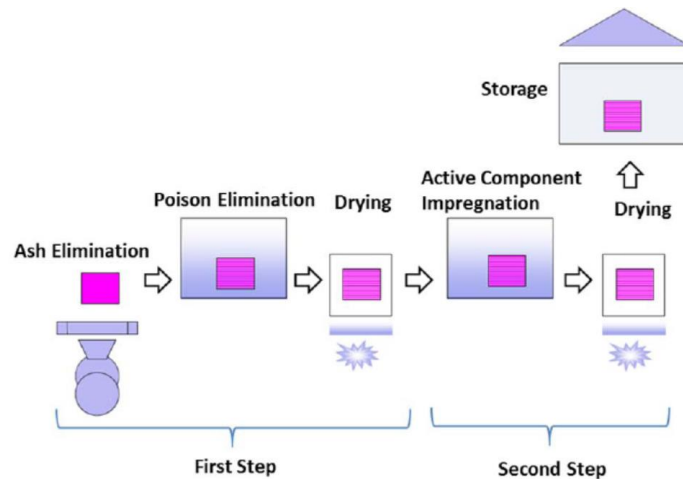


圖 3、觸媒再生處理步驟

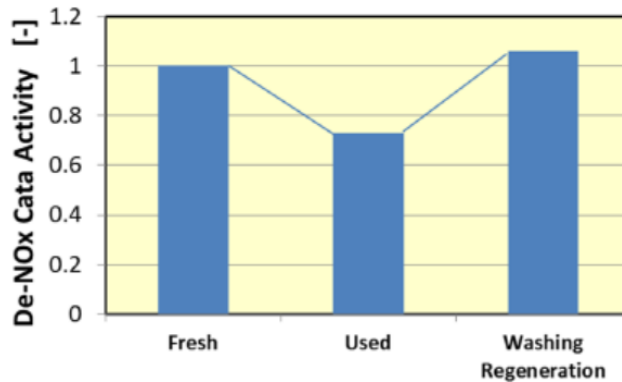


圖 4、觸媒再生處理活性比較

2. 模廠設置

實習過程中經道平部長說明得知本工場除製造 SCR 觸媒催化劑外，亦包含環境研究部門，並於場址靠海處建置一小型燃燒器與空氣污染防制系統模廠(Combustion-AQCS Integrated Test Facility)及相關研究設備，藉此達成下列目的：

- (1) 測試各煤源之煤種及產生之煙氣特性，藉此設計因應之處理流程
- (2) 汞處理方式及程序研究

傳統燃煤電廠燃燒過程中產生之汞型態主要為顆粒汞、氧化汞及元素汞，顆粒汞、氧化汞與部分元素汞可藉由脫硝、除塵及脫硫過程中一併被去除，然而部分元素汞仍可伴隨煙氣經由煙囪排出，如圖 5 所示，故如何提升燃煤電廠煙氣中元素汞之去除率亦為現今空氣污染防制設備(Quality Control System, 以下簡稱「AQCS」)之一大挑戰。

隨著各國逐漸關注廢氣中汞流布與控制，相關管制法規標準益趨嚴格，廢氣之汞含量超標風險大大上升，為配合美國加嚴汞排放限值及符合美國外銷需求，MHPS 公司開發之新型觸媒(TRAC 型，圖 6)可因應煤種特性，讓元素汞氧化率最大可提升至 90% 並維持低 SO_2/SO_3 轉化率(1%)，其氧化後之汞再由濕式 FGD 程序去除，MHPS 公司並指出如若搭配低溫乾式靜電集塵器(Dry Electrostatic Precipitator, 以下簡稱「DEP」)使用，因應煤種特性，則最終排放之煙氣所測得之汞濃度可降低至 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (如圖 7 所示)。

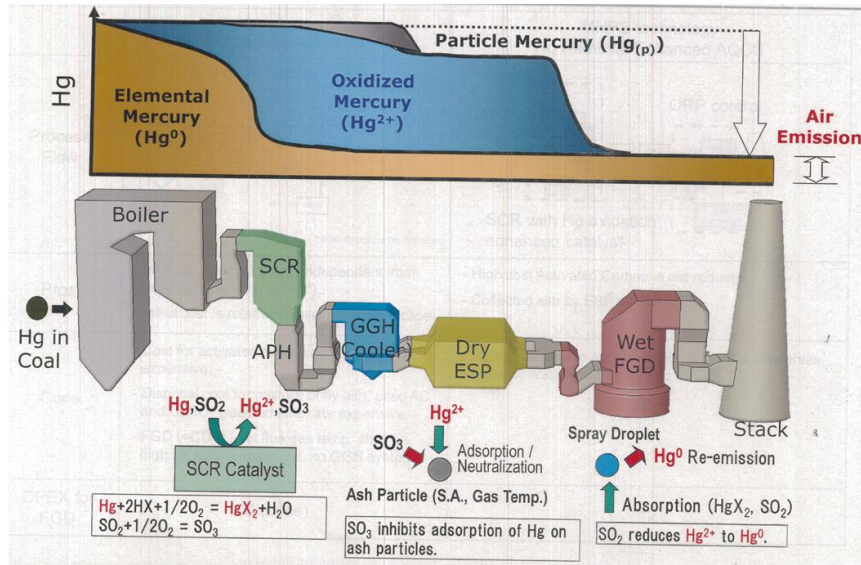


圖 5、傳統燃煤電廠汞去除程序及相關抑制因素

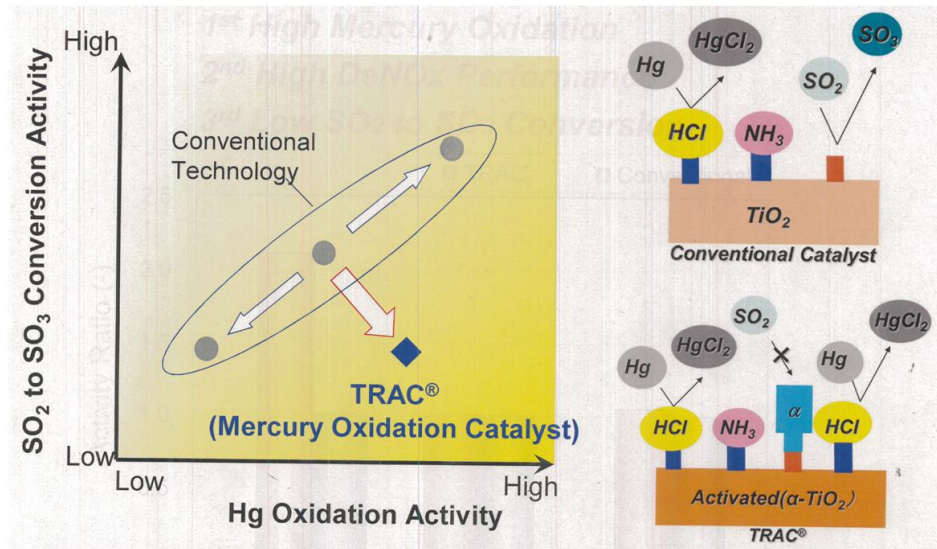


圖 6、TRAC 型觸媒

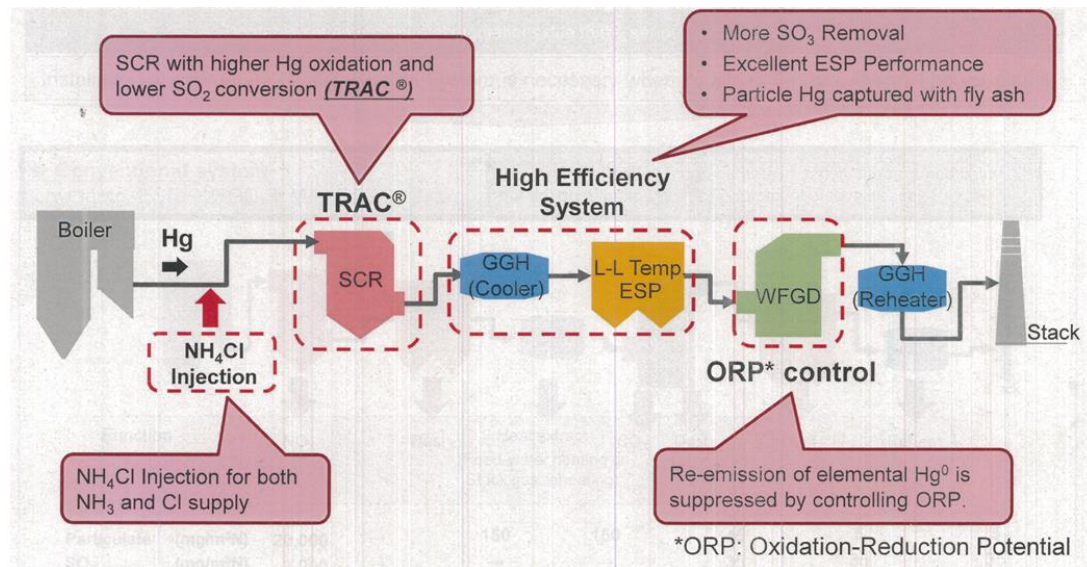


圖 7、高效率 AQCS 汞處理途徑示意

依據我國 103 年 12 月 1 日修正發布之「電力設施空氣污染物排放標準」規定，既有及新設燃煤機組於廢氣中汞之排放濃度不得超過 $5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 及 $2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，而我國多數燃煤電廠正處於設備改善或汰舊換新的階段，考量燃煤電廠之 SCR 觸媒只具氧化元素汞能力而未能實際去除，爰此，汞之主要處理設備仍落於 DEP 或濕式 FGD 中，惟前述處理設備中仍可能因氧化抑制或是還原反應以致汞再逸散問題發生，為因應未來法規加嚴趨勢及營運彈性，仍需進一步研究汞處理方式及搭配程序可行性。另考慮我國放流水亦已管制汞排放濃度，因此 FGD 廢水之汞濃度亦屬關鍵，惟安芸津工場表示現階段尚未針對汞於 FGD 廢水中之濃度進行測試，而有關 EP 或濕式 FGD 設備間接去除汞，導致汞可能於石膏或煤灰中測得，惟因存在濃度不高，現今尚未對日本國內之石膏或煤灰再利用要求品質造成影響。

基於結合前述研究模擬成果與模廠實際運轉情形，可知道該工場之 SCR 觸媒相關產品設計、生產、測試可同步於同點進行，

可有效減少修正程序及時間，進而提升產品品質及商業化效率。

二、中部電力公司-碧南電廠

日本中部電力公司所轄之碧南電廠，位於日本愛知縣碧南市，座落於 Kinuura 灣畔，目前為日本最大之燃煤電廠，秉持供電穩定並兼顧經濟發展、環境保護與安全營運，全廠配置如圖 8 及圖 9 所示。碧南電廠共設置 5 部機組，第 1 至 5 號機分別自 1991、1992、1993、2001 及 2002 年開始商轉，其中第 1 至 3 號機為超臨界機組，單一裝置容量為 70 萬瓩，第 4 及 5 號機則為超超臨界機組，單一裝置容量為 100 萬瓩，總裝置容量為 410 萬瓩，該廠發電量可供應予 310 萬家戶使用。該廠用地面積約 160 公頃，灰塘約 48 公頃。煤源主要來自澳洲及印尼，其占比約為 56.2% 及 30.6%，並搭配相關配煤系統(圖 10)調整每日使用煤料。該廠設置煤場屬露天式，設有防風柵網及灑水設備以防塵爆及逸散，與我國傳統燃煤電廠設置類似，煤塊(直徑約 5 cm)經磨煤機研磨成小麥麵粉(wheat flour)狀之煤粉後，利用密閉式輸煤系統送往鍋爐房燃燒。另設置 1 座風力發電機組(高 30 m，輸出約 250 kW)及太陽能板(設置於電力博物館屋頂)。

碧南電廠配合日本政府生質能政策及相關補助措施，於 2006 年開始採用木頭碎片(woody biomass fuel)及碳化污泥(carbonized sewage sludge)製作生質燃料進行混燒，混燒率為 3%。

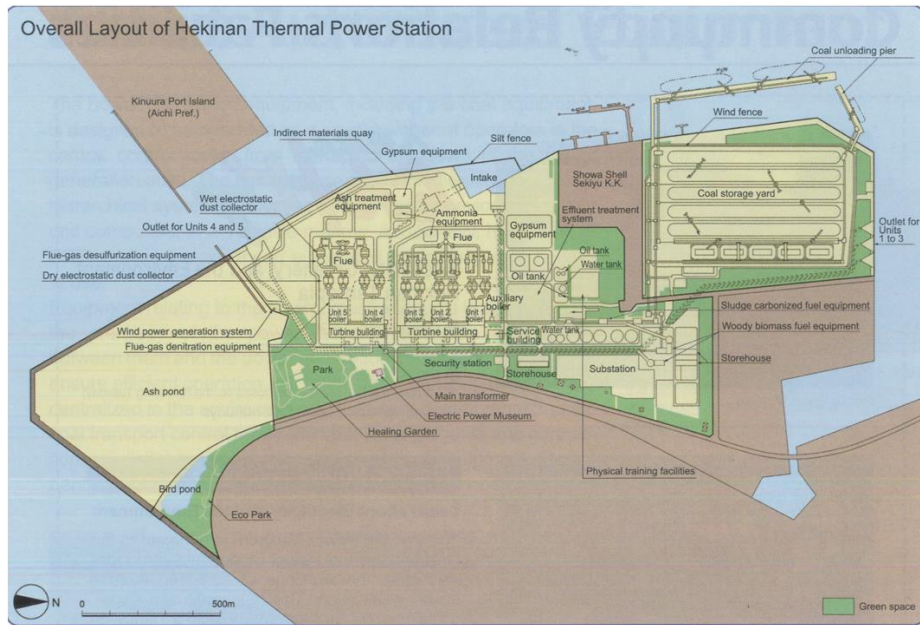


圖 8、碧南電廠全廠配置圖



圖 9、碧南電廠全廠鳥瞰圖

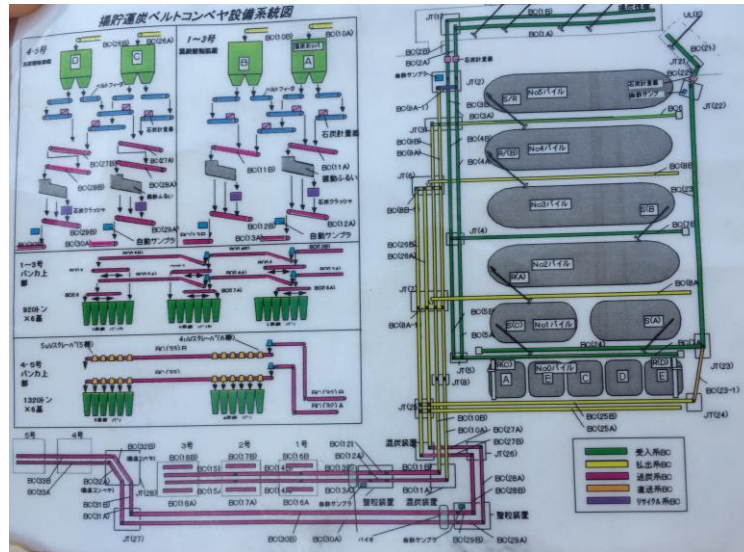


圖 10、碧南電廠輸煤系統流程



圖 11、碧南電廠及 MHPS 相關陪同人員

本次於碧南電廠實習重點係瞭解相關 AQCS 配置及去除效率，並由 MHPS 公司提供燃煤電廠配置建議方案，作為本公司未來配置規劃參考。另於討論過程中間接瞭解日本政府針對空氣污染之管制趨勢及電廠相關因應措施，廠方並介紹整體景觀營造及相關環境友善措施，其中部分與本公司電廠相關配置有異曲同工之妙，甚而有值得本公司學習之處，依序說明如下：

(一) 整廠景觀及環境友善措施

碧南電廠整廠景觀營造主體係以帆船浮於海灣的造型融入大環境，自詡為「浮在三河灣上的帆船發電廠」，整廠建築設計均為藍白配色(如圖 12 所示)，搭配實習時的絕佳天氣，頗有海天一色之感，整體電廠配色融合協調一致，另電廠 25% 用地作為綠地使用，該廠並自主設有生態公園、康復公園、電力博物館及垂釣區等免費開放環境友善設施(圖 13)，觀察電廠內外周邊環境乾淨，令人感到舒服愉悅，是一個藉由景觀設計可增進民眾親近，由鄰避設施轉變為鄰愛設施之良好範例。



圖 12、碧南電廠建築配色原則



圖 13、碧南電廠環境友善設施(康復公園)

該廠煙囪造型亦不同於以往傳統燃煤電廠設計，由第 1 至 3 號機

與第 4 至 5 號機各自集結成兩束鐵塔式煙囪，煙囪高達 200 公尺，除有助於煙氣擴散外，亦可作為該廠標的物(圖 14)，由海面望來更為明顯特別。我國更新改建之燃煤電廠除已有創新煙囪造型實績，並朝整廠景觀營造進行規劃，甚至已採取國際競圖方式作為設計藍圖，可見我國與國際接軌之決心及融入環境友善之精神進行電廠永續經營之貌。



圖 14、碧南電廠第 1 至 3 號機設置全貌

(二) AQCS 配置

傳統燃煤電廠之 AQCS 主要由脫硝(flue-gas denitrification)、除塵(dust collection)及脫硫(flue-gas desulfurization)設備組成，最後加熱煙氣再經高煙囪擴散排出(如圖 15 所示)。

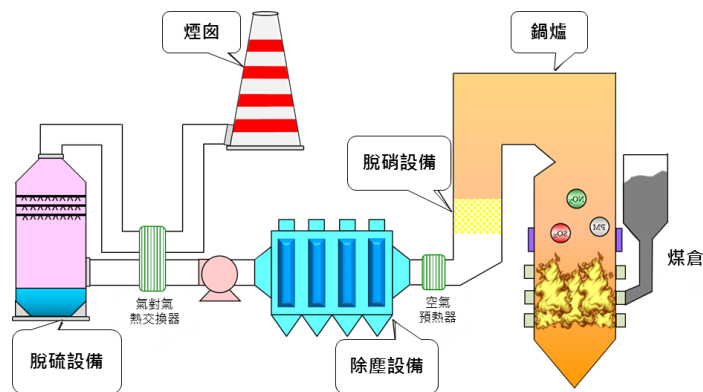


圖 15、傳統燃煤電廠廢氣處理流程

碧南電廠之 AQCS 系統亦遵循上述原則，鍋爐出口後之煙氣，先以 SCR 去除氮氧化物，再經 DEP 收集粒狀污染物，經 GGH 後由濕式石灰石石膏法 FGD 設備再去除硫氧化物，後來碧南電廠欲增設第 4 及 5 號機，為符合總量管制及考量附近民眾觀感，碧南電廠提出各機組更嚴格之空氣污染物排放濃度(如表 1 所示)，為符合前述標準，廠方除改善及設計既有第 1 至 3 號機與新設第 4、5 號機之空氣污染防治設備外，並於第 1 至 3 號機及第 4 至 5 號機之濕式 FGD 設備後各再設置一套溼式靜電集塵器 (Wet Electrostatic Precipitator, 以下簡稱「WEP」)，該廠現行使用之配置可使 PM_{2.5} 排放濃度保證值控制在 3.5 mg/Nm³ 以下。

處理流程(詳如圖 16)：

鍋爐→SCR 脫硝→乾式 EP 除塵→濕式 FGD 脫硫及除塵→WEP 除塵
→高煙囪排放。

表 1、碧南電廠第 1 至 5 號機空氣污染物排放標準

| 燃煤機組 排放標準 | 第 1 至 3 號機 | 第 4 及 5 號機 |
|--------------------------|------------|------------|
| TSP(mg/Nm ³) | 5 | 5 |
| SOx(ppm) | 28 | 25 |
| NOx(ppm) | 30 | 15 |

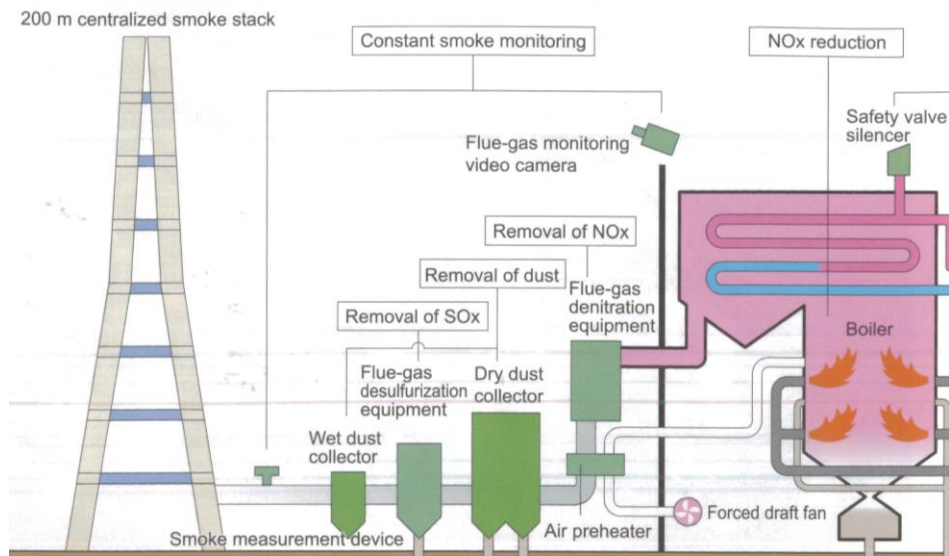
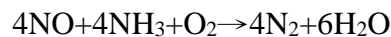


圖 16、碧南電廠 AQCS 系統處理流程

1. SCR

碧南電廠選擇以 SCR 方式去除 NO_x，以第 4 至 5 號機為例，SCR 設計 4 層觸媒層(含 1 層備用層)，NO_x 去除效率約 90%，排放濃度可小於 15 ppm，其中備用層則可因應未來法規加嚴等需求啟用，提升去除效率進而再降低排放濃度。

化學反應式：



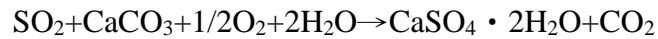
承上，我國未來既有或新設燃煤電廠針對 SCR 進行設計或改善時，建議可依操作彈性及法規趨勢適度增加備用觸媒板層數以為因應，惟仍應克服注氨逸散、壓損等問題。除前述備用層數增加方式外，MHPS 公司亦建議可利用(1)提高觸媒接觸面積或(2)改變觸媒的樣式以提升既有 SCR 之脫硝效能，舉例來說，我們可增加觸媒板在每一觸媒箱中的數量，或是改變觸媒成份等。此外，MHPS 公司亦說明若將觸媒形式換成高汞氧化型觸媒亦可間接提升汞的去除效果，如前述於安芸津工場提到之 TRAC 型觸媒板。

另針對 SCR 常見之過度注氨致硫酸氫銨生成問題，據碧南電廠表示，現階段還是以調整注氨濃度作為控制措施，惟前述方式不免還是會造成氨逸散(NH₃ slip)，致硫酸氫銨生成沉澱而堵塞觸媒板，碧南電廠後再採取水洗方式去除沉澱，水洗頻率約為 1 至 2 次/年。

2. 濕式 FGD

碧南電廠同我國大多數燃煤電廠，採用濕式石灰石石膏法去除硫氧化物，其吸收塔如圖 17 所示，使 SO_x 排放總量維持原先既有之水準。

化學反應式：



另濕式 FGD 亦可間接去除粒狀污染物，惟去除之粒狀污染物濃度不高，故不會影響副產品石膏之回收品質要求，石膏再供給日本國內市場進行再利用。而針對欲提升既有 FGD 之脫硫效果，MHPS 公司則建議至少要將噴嘴及其管線更換，但主要還是取決於既有設備之檢測結果、條件限制及提升效率需求後現再行設計規劃。



圖 17、碧南電廠第 4 號機濕式 FGD 吸收塔外觀

3. DEP 及 WEP

同前所述，為符合總量管制及考量附近民眾觀感，碧南電廠於 5 部燃煤機組設置高效率 DEP 及 WEP 收集煙塵，營運過程中可保持符合相關管制標準，甚而低於該項標準，另日本近年亦關注 PM_{2.5} 議題，與我國面臨相似情形，故如何持續規劃及保持低濃度運轉亦為本次實習關心內容。實習過程中，碧南電廠說明重點著重於 WEP 設置緣由及運轉相關資訊：

- (1) 考量未來空氣污染防制設備擴增需求，廠方於規劃設計階段即已預留擴增設置空間，另因應政府要求粒狀污染物排放濃度需小於 10 mg/Nm³，電廠加以考量運轉彈性等因素，希望設計廠商能使粒狀污染物排放濃度可小於 5 mg/Nm³(保證值 3.5 mg/Nm³)，基於以上要求，促成碧南電廠 5 部機組增設 WEP。
- (2) 由於 WEP 係採噴灑方式(water spray)達成收集煙塵目的(如圖 18 所示)，故亦需設置處理水儲槽，該槽體材質主要為 316 不鏽鋼，耐腐蝕性高，可儲存約 90 噸，全數供給 WEP 使用，使用後之廢水部分送至濕式 FGD 再利用或廢水處理系統後排放(約 10 噸)，其餘則經處理後持續循環使用(約 80 噸)。至於 DEP 設備可能造成之粒狀污染物再逸散問題，由於 WEP 採噴灑去除方式，故不致產生再逸散情形。

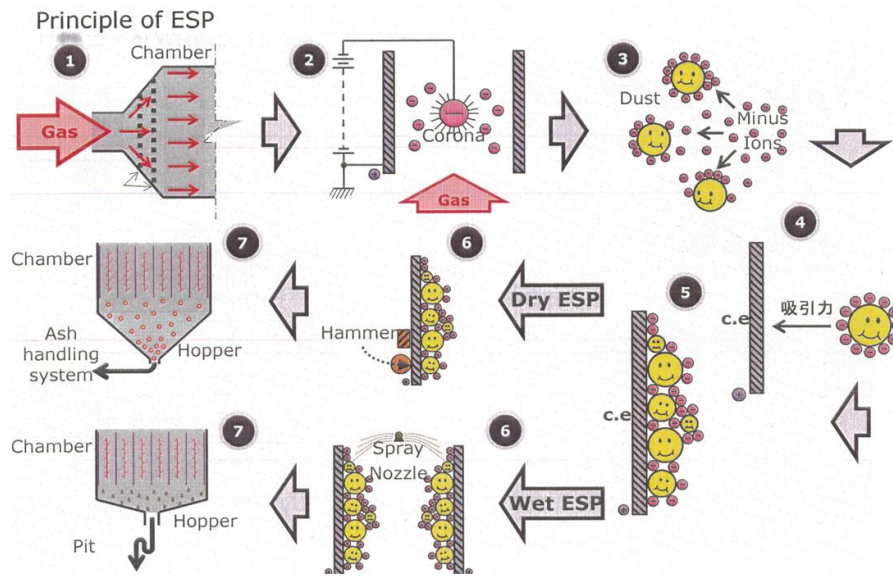


圖 18、DEP 與 WEP 去除粒狀污染物方式

(3) 碧南電廠第 1 至 3 號機煙氣於 DEP 出口處量測之粒狀污染物濃度為 $150\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，有設 2 室 WEP(圖 19)，而第 4 至 5 號機於 DEP 出口處量測之粒狀污染物濃度則為 $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，僅設 1 室 WEP(圖 20)。廠方為掌控煙氣粒狀污染物處理情形，在 WEP 出口及煙囪出口監測粒狀污染物濃度。第 1 至 5 號機之煙氣於 WEP 出口處量測之粒狀污染物濃度保證值 $3.5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，惟廠方實際運轉平均濃度可低達 $1\sim 2\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。



圖 19、碧南電廠第 3 號機 WEP(2 室)設置示意



圖 20、碧南電廠第 4 號機 WEP(1 室)設置示意

若針對新設燃煤電廠，MHPS 公司另提出可採用低低溫 DEP 設備，藉由處理溫度下降(約 90 度)，可讓粒子電阻下降而增加去除效率，進而提升小粒徑顆粒去除率，其去除效果不亞於 WEP，如圖 21 及圖 22 所示。此外，由於設備內部溫度約 90 度，可使煙氣中 SO_2 低於露點溫度(約 120 至 125 度)，讓 SO_2 液滴凝結於灰粒上，經由低低溫 DEP 程序一同除去。碧南電廠 4 至 5 號機即是使用低低溫 DEP 設備。

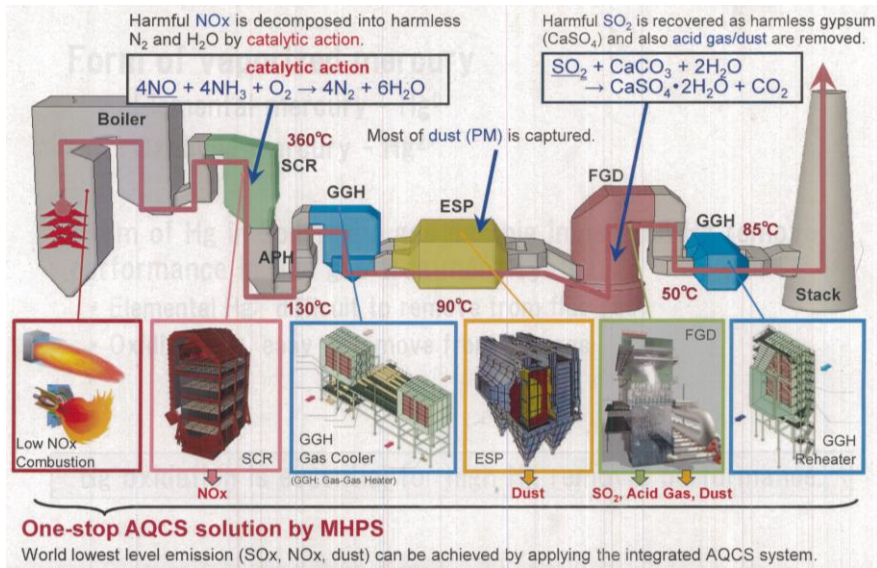


圖 21、低低溫 DEP 於燃煤電廠空氣污染防制設備之配置方式

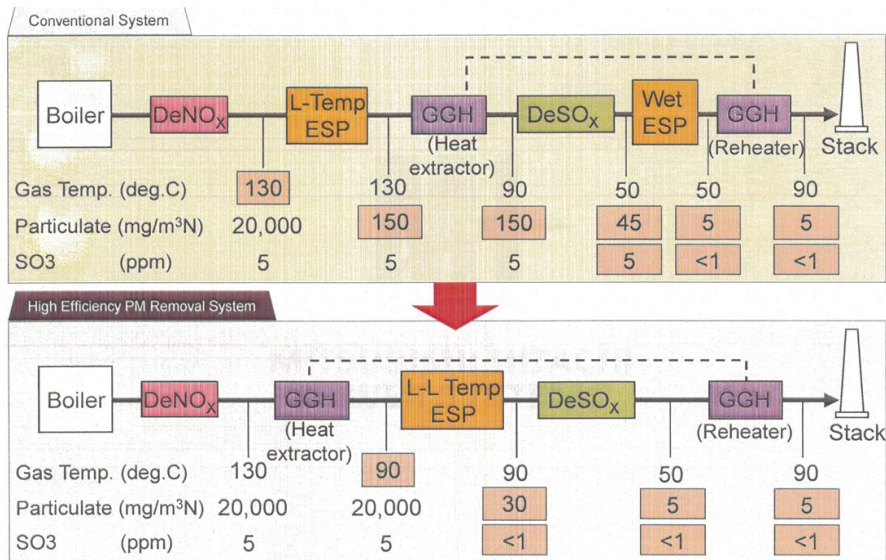


圖 22、低低溫 DEP 與 WDP 去除效率比較示意

因應 PM_{2.5} 相關問題，我國政府之空氣污染物排放標準逐年檢討並加嚴下修，本公司燃煤電廠相關空氣污染防制設備更新或改善已刻不容緩，然基於本公司燃煤電廠均為運轉中之電廠，且可擴增空氣污染防制設備之空間不足，故上述所使用之 WEP 設備似乎無法成為粒狀污染物處理利器參考，為解決空間不足問題，MHPS 公司另提出於 DEP 最後一或二倉調整為移動式乾式集

塵器 (Moving Electrode Electrostatic Precipitator, 以下簡稱「MEEP」)作為替代方式。MEEP 係以收集小粒徑顆粒為主，並以移動電極結構及旋轉刷除取代傳統 DEP 之敲擊方式(圖 23)，故可避免粒狀污染物再逸散(re-scattering)問題，藉此達到小粒徑顆粒去除率上升功能，據 MHPS 公司表示，MEEP 方式針對 PM_{2.5} 之去除率不下於 WEP。而因 MEEP 係由既有 DEP 改建而成，具有既有 DEP 結構及其他部件可重複使用以減少額外空間需求及無需移除或增加引風機容量之優點。本公司現正進行之台中發電廠 1 至 4 號機空氣污染防制設備改善內容即已包含 MEEP 方案在內，未來我國台中發電廠 5 至 10 號機或其他燃煤電廠如亦有相關空氣污染防制設備改善計畫，建議可將 MEEP 納入考量。

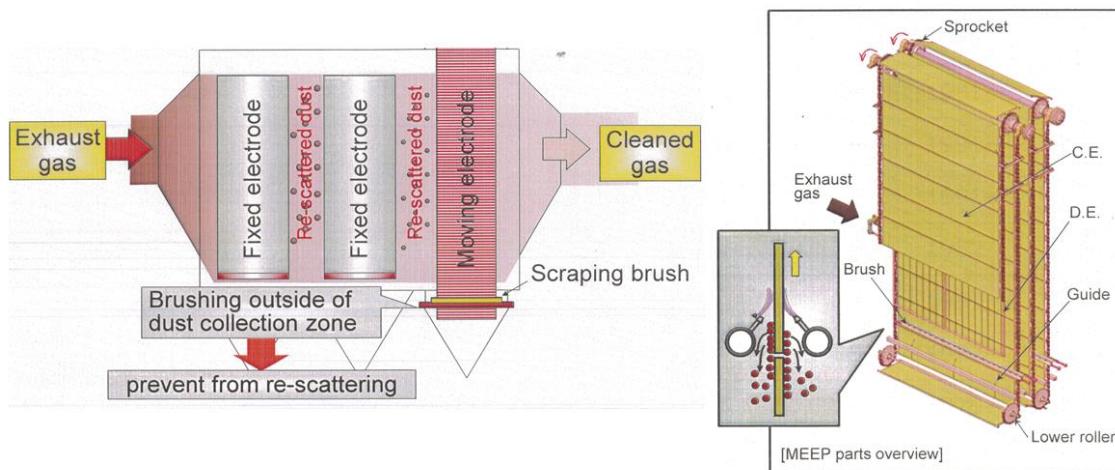


圖 23、MEEP 去除粒狀污染物方式

綜合上述相關資訊及透過不同型式集塵器對於不同粒徑之粒狀污染物去除曲線(圖 24)顯示，WEP、低溫 DEP 及 MEEP 與傳統 DEP 相較之下，針對小粒徑顆粒均有較好之去除效果，表 2 進一步針對相關 EP 組合所能達成之 PM_{2.5} 排放濃度比較，基本上以 DEP 搭配最後 2 倉改為 MEEP 即可達成 PM_{2.5} 排放濃度小於 10 mg/Nm³之要求，而低溫 DEP 及 WDP 之選用更可有效降低 PM_{2.5}

排放濃度，另 MHPS 公司建議 DEP 出口仍要維持一定之乾灰量(即維持一定之粒狀污染物濃度，建議粒狀污染物與 SO₂ 之濃度比值為數百倍)，減少因乾灰量少致煙氣中 SO₂ 酸液附著濃度上升致後續管線或設備腐蝕情形，惟本次實習過程經詢 MHPS 公司若以低溫 DEP 搭配 MEEP 組合下之 PM_{2.5} 排放情形，MHPS 公司表示由於現今尚未有此配置設計及使用實績，基此尚無法推測 PM_{2.5} 排放濃度。本於未來可能之設置需求蒐集目的，建議本公司相關單位未來仍可朝該配置進行討論及規劃。

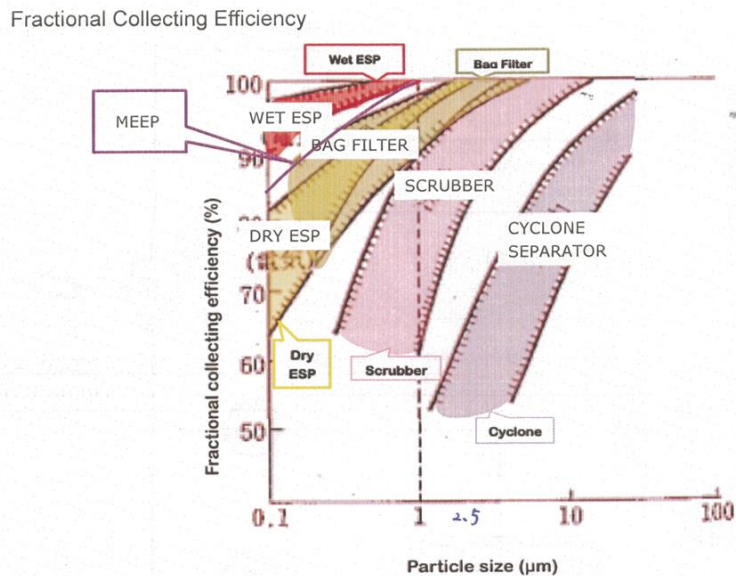


圖 24、不同型式集塵器對於不同粒徑之粒狀污染物去除曲線圖

表 2、使用不同 EP 設備組合之 PM_{2.5} 排放濃度

| PM _{2.5} 排放濃度 (mg/Nm ³) | EP 設備 | MEEP | 低溫 DEP | 低低溫 DEP | WEP |
|---|-------|------------|-----------|------------|-----|
| 15 | | ✓ (1 倉) | ✓ | X | X |
| 10 | | ✓ (2 倉) | ✓ | X | X |
| 5 | | X | X | ✓ | X |
| 2~3 | | X | X | ✓ | ✓ |

註：尚無低低溫 DEP 搭配 MEEP 之實績，無法得知 PM_{2.5} 排放情形

4. GGH

除前述空氣污染防治設備，燃煤電廠 AQCS 亦不可缺少 GGH，本設備通常設置於 SCR 後(冷端，如圖 25)及煙囪前(熱端，如圖 20)，SCR 後之 GGH 可藉收集煙氣所含熱量，使煙氣下降至 DEP 設備所需溫度，收集到之廢熱則可送至鍋爐加熱飼水系統以增加發電效率或送至煙囪前 GGH 中加熱煙氣以消除白煙及促進熱擴散。現今多數新設燃煤機組採用非洩漏式 GGH，能更有效收集廢熱以達成節能目的。

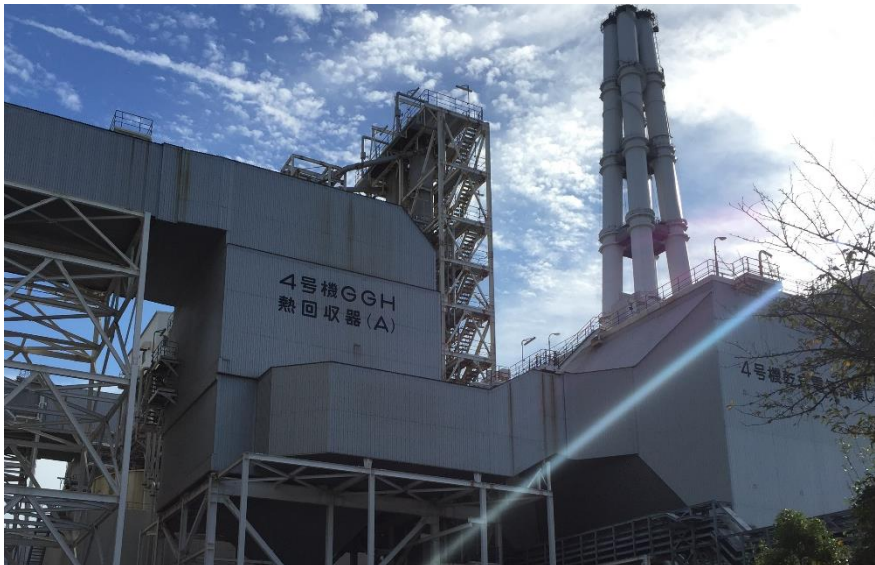


圖 25、碧南電廠之 GGH(冷端)設置

肆、建議事項

我國燃煤電廠自規劃設計到完成費時甚久，故須由長遠眼光審慎考量相關配置，尤以符合與時俱進之環保相關法規及確保營運操作彈性可行為最。由於日本地理環境與我國相似，因此相關發電結構及規劃細節值得我們參考。經本次日本實習之過程，瞭解日本電力公司於規劃設計及運轉相關設置，特別是電廠對於外界意見之事前因應及事後調整，與我國社會期待相當，包含整體景觀營造、生質能使用及空氣污染防制等，其中整體景觀營造已可在本公司更新擴(改)建中之燃煤(氣)電廠看見雛形，打破傳統鋼鐵水泥生硬形象，開始出現結構變化、色彩調和活潑之樣貌，甚至已開始採用國際競圖方式進行規劃設計，讓我開始期待看見本公司打造出不一樣的各式電廠。

另有關本次空氣污染防制設備配置內容蒐集，由於 MHPS 公司目前著手進行台中發電廠第 1 至 4 號機之空氣污染防制設備改善，對於我國燃煤電廠配置及相關設計限制有所瞭解，再者，碧南電廠多年以來維持低排放濃度之操作實績亦是本公司未來既有或新建燃煤電廠機組長遠規劃達成目標，爰本次蒐集之相關資料具有一定之參考價值，茲就所得資料及實習心得提出建議如下：

- 一、我國政府刻正進行之社會經濟影響評估相關制度設計，其目的係使各式開發計畫於規劃設計階段即需傾聽外界聲音，納入各式意見以預為因應，此外，開發單位應隨時因應開發及營運過程中之社會環境變動，機動調整未來規劃或執行方向，使開發計畫及營運場所能友善回應外界期待。基此，建議本公司後續燃煤電廠或相關開發計畫可融合前述觀念作為設計規劃考量重點之一，以隨時掌握社會脈動，達成與時俱進之目標與成就。
- 二、我國 PM_{2.5} 相關議題持續延燒，而我國燃煤電廠正處於改善或汰舊更新階段，茲於 PM_{2.5} 去除效率提升及新舊機組交替過程中之改善空間考量，由於 MEEP 係由既有 DEP 改建而成，具有既有 DEP 結構及其他部件可重複使用以減少額外空間需求及無需移除或增加引風機容量，並能防止再逸散

而使小粒徑顆粒去除率上升之優點，未來我國台中發電廠 5 至 10 號機或其他燃煤電廠如亦有相關空氣污染防制設備改善計畫，建議可將 MEEP 納入考量。

- 三、因應我國環保法規管制方向，未來新設燃煤電廠設置低低溫 DEP 將可能為主要趨勢，惟為因應後續粒狀污染物等管制標準加嚴趨勢，建議仍需保留 AQCS 如 SCR 觸媒備用層(須克服壓損、注氨洩漏量等問題)或 WDP 之擴增空間。
- 四、如未有上述 WDP 空間留存方案，則建議可予以搭配 MEEP，惟該配置之粒狀污染物排放濃度目前仍未有相關使用實績，本於可能之設置需求蒐集目的，建議未來仍可朝該配置進行討論及規劃。
- 五、因應我國未來環保管制趨勢，雖市面已有相關 SCR 高汞氧化型觸媒材料出現，然 SCR 觸媒仍只具氧化能力而未有實際去除汞功能，爰此，汞之主要處理設備仍落於除塵或脫硫設備中，惟前述處理設備中仍可能因氧化抑制或是還原反應以致汞再逸散問題發生，為因應未來法規加嚴趨勢及營運彈性，仍需進一步研究汞實際去除機制及搭配程序可行度，以克服未來營運限制。
- 六、本次實習過程中僅先針對相關設備之特定空氣污染物去除率及空間需求進行討論，惟前述相關配置組合之建置、運維成本及專利產權、操作限制等因子亦為未來設計應予考量之重點而不可忽視。