

出國報告（出國類別：實習）

台中發電廠既有機組空污改善工程計畫 移動式電極靜電集塵器及其附屬設備之 設計、製造、測試、運轉及維護

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：台中發電廠鍋爐組鍋爐主機二課長	邱士展
核能火力發電工程處機械工程專員	莊明衛
發電處鍋爐組機械工程專員	馬瑞鴻

派赴國家：日本

出國期間：107年10月17日至107年11月13日

報告日期：107年12月27日

出國報告審核表

出國報告名稱：台中發電既有機組空污改善工程計畫－移動式電極靜電集塵器及其附屬設備之設計、製造、測試、運轉及維護

出國人姓名 <small>(2人以上, 以1人為代表)</small>	職稱	服務單位
馬瑞鴻	機械工程專員	台灣電力公司發電處鍋爐組
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"/> 開會 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (請依出國任務填列, 例如業務接洽、海外承攬、駐外等)	

出國期間：107年10月17日至107年11月13日 報告繳交日期： 年 月 日

出國人員 自我檢核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. 依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. 格式完整 (本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. 無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. 內容充實完備
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. 建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. 送本機關參考或研辦
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. 送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. 退回補正, 原因:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. 本報告除上傳至公務出國報告資訊網外, 將採行之公開發表:
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10. 其他處理意見及方式:

報告人 <small>(2人以上, 以1人代表)</small> 	單位 主管 	主管處 主管 	總經理 副總經理  
--	---	--	--

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「公務出國報告資訊網」為原則。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：台中發電廠既有機組空污改善工程計畫－移動式電極靜電集塵器及其附屬設備之設計、製造、測試、運轉及維護

頁數 28 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/(02) 2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

邱士展/台灣電力公司/台中發電廠/鍋爐組主機二課長/(04)2630-2123

莊明衛/台灣電力公司/核能火力發電工程處/機械工程專員/(02)2322-9437

馬瑞鴻/台灣電力公司/發電處/機械工程師/(02)2366-6518

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：107 年 10 月 17 日至 107 年 11 月 13 日

派赴國家：日本

報告日期：107 年 12 月 27 日

關鍵詞：空氣品質控制系統(AQCS)、移動式電極靜電集塵器(MEEP)、靜電極塵器(ESP)

內容摘要：

台中電廠 1-4 號機 AQCS 改善期間，將既有靜電除塵器第 6 區由「傳統乾式靜電集塵器」更換為「移動式電極靜電集塵器」，改善後除塵效率可高達 99.875%，可使煙氣中的懸浮微粒降至 $15\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下，並改善揚塵再溢散(Re-entrainment)的現象，以符合電力設施空氣污染物排放標準。

移動式電極靜電集塵器(Moving Electrode Electrostatic

Precipitator)有別於過往燃煤電廠採用的靜電集塵設備，在本公司並無相關運轉維護經驗，此次赴日本三菱日立電力系統公司(MHPS)研習台中電廠移動式電極靜電集塵器及其附屬設備之設計、製造、測試、運轉及維護等相關技術，以確保其運轉可靠及性能符合電廠運轉及維護需求，盼有助於減少因移動式電極靜電集塵器引起的機組停機損失，同時增進機組運轉安全。另外安排參觀日本東北電力公司原町火力發電廠，瞭解日本燃煤電廠運轉維護、生質燃料添加在燃煤中之運轉經驗以及該電廠在日本 311 海嘯後設備復原的過程，作為未來電廠維護之參考。

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

目 次

第一章	實習目的	1
第二章	實習過程	1
第三章	實習內容摘要	2
	3.1 台中電廠既有 ESP 現況	2
	3.2 移動式電極靜電集塵器改善工程評估	2
	3.3 MEEP 除塵原理介紹	4
	3.4 MEEP 配置及功能	8
第四章	MEEP 製造工廠參訪	13
	4.1 MEEP 機械部分組裝製造—大力機械廠	13
	4.2 MEEP 機械部分組裝製造—新興冷凍機株式會社 ...	17
	4.3 北富士オリジン電氣廠	20
	4.4 三菱日立重工神戶事業所	21
第五章	原町火力發電廠參訪	23
	5.1 原町火力發電廠簡介	23
	5.2 除塵設備參訪	25
	5.3 原町發電廠燃燒生質燃料討論	27
第六章	心得與建議	28

第一章 實習目的

近年台灣各地方政府擬陸續加嚴電力設施空氣污染物排放標準，尤以懸浮微粒 (PM) 最為重視。台中電廠 1-4 號機建廠至今，氮氧化物、硫氧化物及懸浮微粒等空污防制設備已歷經多次改善，但在既有腹地不足的情況下，如何針對既有懸浮微粒防制設備（靜電除塵器）提效改造技術為一大挑戰。本次赴三菱日立電力系統公司 (MITSUBISHI-HITACHI POWER SYSTEMS, LTD, MHPS) 研習台中電廠 1-4 號機移動式電極靜電集塵器及其附屬設備及廠房之設計，製造、測試、運轉及維護，以利未來台中電廠的運維工作及零配件管理。

第二章 實習過程

起 訖 日	機 構 名 稱 及 實 習 內 容
107 年 10 月 17 日	赴日本橫濱
107 年 10 月 18 日至 107 年 10 月 22 日	至 MHPS 研發部門研習移動式電極靜電集塵器技術
107 年 10 月 23 日至 107 年 10 月 31 日	至 MHPS 協力廠商—大力機械廠、新興冷凍機株式會社及北富士オリジン電氣廠研習機械及電氣設備等製造、安裝過程技術
107 年 11 月 1 日至 107 年 11 月 12 日	至 MHPS 神戶廠研習等移動式電極靜電集塵器電氣儀控技術，以及原町發電廠參訪
107 年 11 月 13 日	返台灣台北

第三章 實習內容摘要

3.1 台中電廠既有 ESP 現況

台中發電廠 1~4 號機組之 ESP 原設計參數，當 ESP 設計進口濃度為 15,750 mg/Nm³ 時，出口保證值為 27 mg/Nm³(All T/R Sets in Service)，保證效率為 99.8286%；當 ESP 設計進口濃度為 8,000 mg/Nm³ 時，保證除塵效率為 99.6875% (All T/R Sets in Service)，經計算後其 ESP 出口濃度為 25 mg/Nm³，顯見原設計下除塵能力可能已無法應付未來更嚴之法規標準(20 mg/Nm³)。

根據台中電廠長期以 2 澳 3 印混煤後燃燒結果，約 80% 之 ESP 進口濃度落在 12,000 mg/Nm³ 以下，故以該值作為 ESP 進口濃度規劃。而在達到原先設計的除塵效率 99.83% 下(四捨五入至小數點第二位)，ESP 出口濃度約為 20 mg/Nm³。

本計畫改善後，在 ESP 進口濃度 ≤ 12,000 mg/Nm³ 情況下，ESP 出口濃度 15 mg/Nm³ 做為保證值之訂定，且為確保 ESP 進口濃度大於 12,000 mg/Nm³ 情形，ESP 效率須至少維持 99.875%，整理以下如表一。

表一、本計畫改善前後 ESP 效率

設計條件	原始設計值	改善前實際值	改善後目標值	改善後保證值
ESP 進口濃度 (mg/Nm ³)	15,750	15,750	12,000	12,000
ESP 出口濃度 (mg/Nm ³)	≤27	57	≤20	≤15
集塵效率(%)	≥99.83	99.64	≥99.83	≥99.875

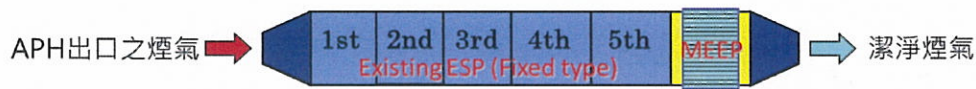
3.2 移動式電極靜電集塵器改善工程評估

3.2.1 改善目標——提高集塵效率及降低 PM

目前已有具體實績的商業化設備包含傳統乾式靜電集塵器(ESP)、移動式電極靜電集塵器(MEEP)、低溫靜電集塵器(LLESP)、濕式靜電集塵器(WESP)及袋濾式集塵器(PRS)等。

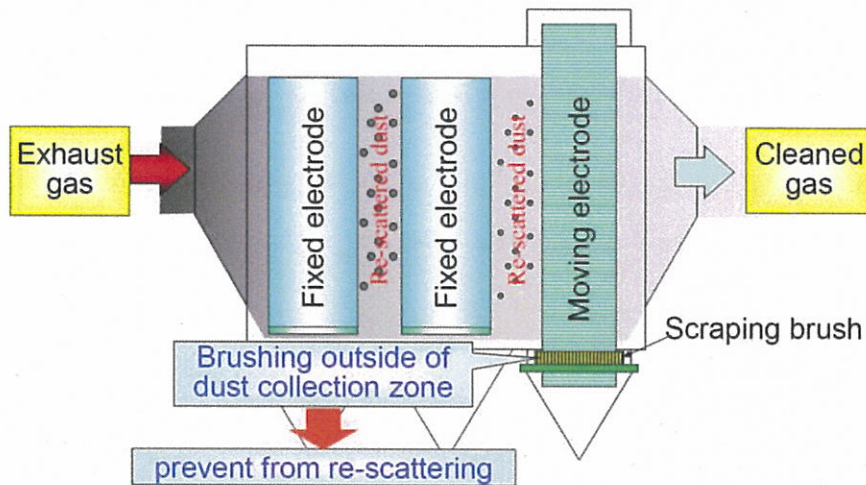
在考慮既有廠區配置不變、空間大小有限，且機組停機時程僅有 4 個月等情況，並以 ESP 出口濃度保證值為 15 mg/Nm³ 為設計基準及原 ESP 設計條件評估，考量不擴建 ESP、保留下游風煙道與附屬設備配置之前提下進行改善，以最後一除塵區更換為

MEEP，可滿足上述標的，如圖二所示。



圖二、ESP 改善簡單示意圖

MEEP 透過清潔刷(Brush)清除集塵極板(Collecting Electrode, CE)之塵粒，以保持集塵極板的表面清潔，清潔後之集塵極板可持續進入集塵區(Dust Collecting Zone)收集塵粒，相較於傳統固定式 ESP(Fixed ESP)的敲擊，MEEP 優點為可避免飛灰因高電阻率而無法敲落之問題，有效維持 ESP 效率。另外，亦可避免揚塵再逸散(Re-scattering)現象，如圖三所示。



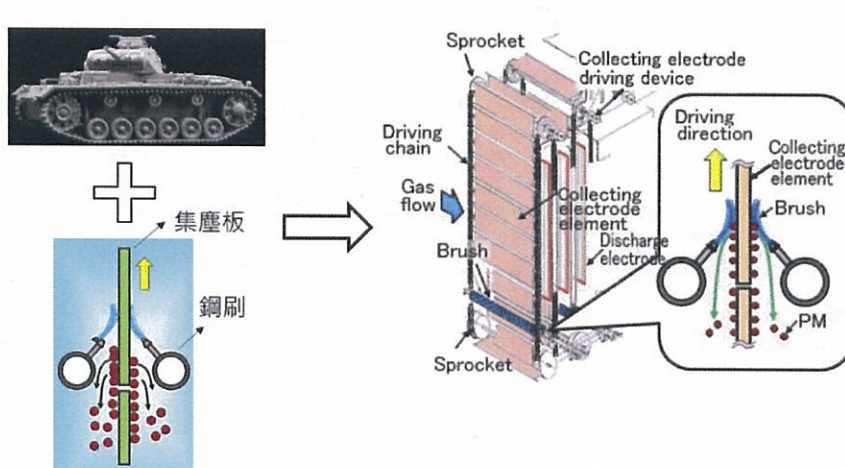
圖三、MEEP 除塵特性

除了最後一除塵區更換為 MEEP 外，將燃氣進口均流板的更新以及檢查整修前五區之極板、極線、敲擊系統以確保其功能正常，使 ESP 出口煙氣排放保證值可達 $15\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，且可針對高電阻率的飛灰進行捕捉，以應付未來煤質變化。在 MEEP 工期方面，因僅需於 ESP 最後一除塵區進行施工作業，且 MEEP 主體可採元件預組後再吊裝之方式進行，可有效縮短安裝時間。

3.2.2 MEEP 設計概念

MEEP 首次開發的原由，係源於 1979 年日本國內一提煉石油設備(Fluidized Catalyst Cracker)在安裝 2 區固定式 ESP 後，其性能仍未達到要求(目標值由 350 降至 $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，實際值則為 214 降至 $78\text{mg}/\text{Nm}^3$)。經檢討後，發現乃煙氣中的粉塵之電阻率偏高，使 ESP 效率降低為其主要原因。

然而，由於該廠區空間有限，僅容許再增設一區的除塵設備。為克服粉塵電阻率偏高的問題，在研發過程中導入坦克履帶及結合旋轉清潔刷的概念，設計出移動式電極(Moving Electrode)，如圖四所示，因此增設第三除塵區為MEEP，有別於傳統乾式靜電集塵器，有效克服粉塵電阻率高的粉塵顆粒，使煙氣能達到排放標準。



圖四、MEEP 研發設計概念

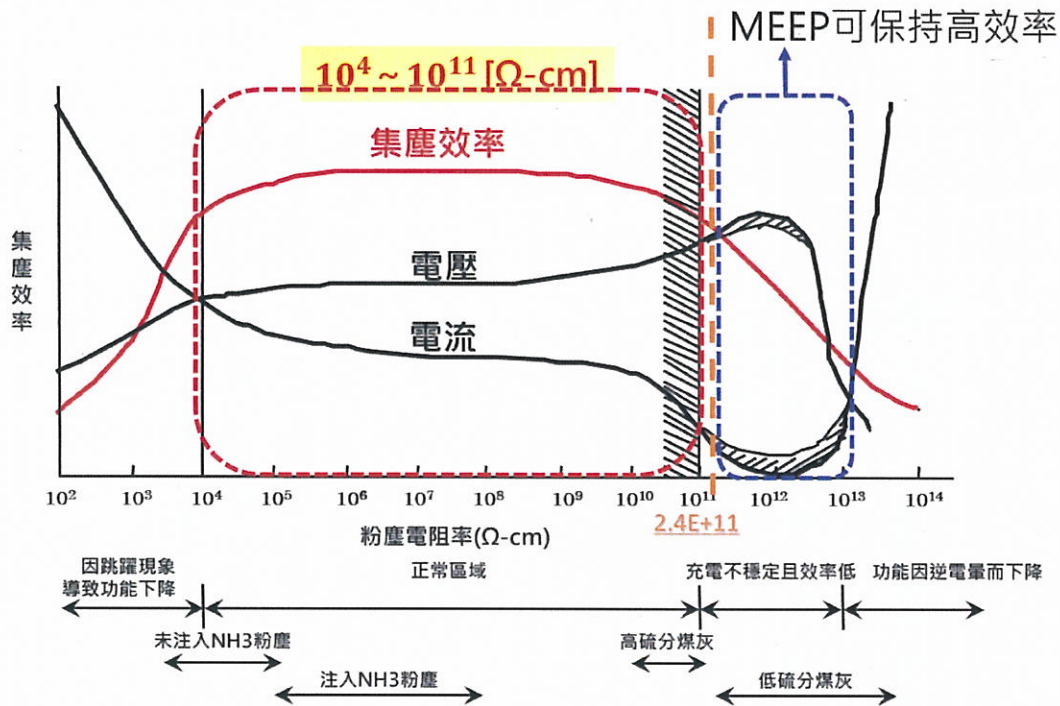
3.2.3 MEEP 實績

目前三菱日立電力事業群在世界各地，正在運行的 MEEP 機組遍布日本、土耳其、印度、中國及台灣(目前有台中電廠及中龍鋼鐵)，其中運用於電力產業部分共有 59 部機組，有 45 部機組裝設於日本國內，14 部機組裝設於日本以外。另外運用於其他行業的污染防治，共計 43 部機組，可見 MEEP 技術應用於除塵防治已日漸成熟，頗具相當實績。

3.3 MEEP 除塵原理介紹

3.3.1 集塵效率與粉塵電阻率

粉塵電阻率為影響集塵效率最重要的因素，通常粉塵電阻率落在 $1.0 \times 10^4 \sim 2.4 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$ ，可維持集塵器高效率運轉，如圖五所示。



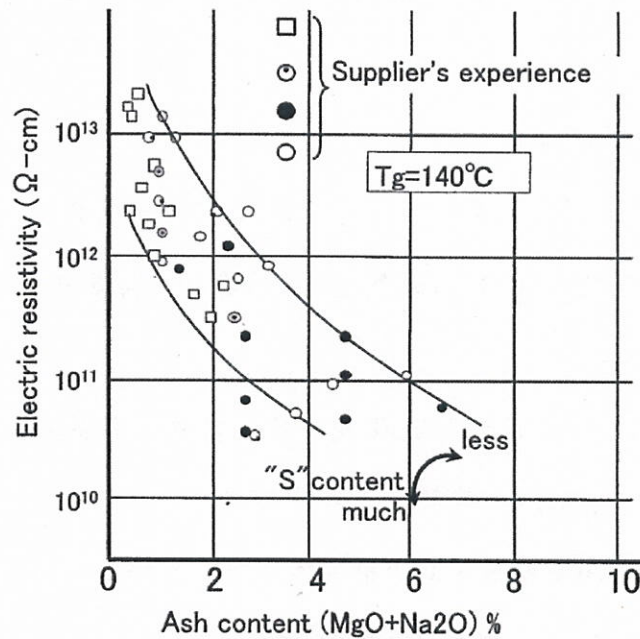
圖五、粉塵電阻率與集塵效率之曲線

以台中電廠設計煤質評估，如表二，其粉塵電阻率經原廠家(MHPS)預估約為 $1.5 \times 10^{12} \Omega\text{-cm}$ ，顯示該煤配比具高粉塵電阻率特性，將導致飛灰充電不穩定甚至因逆電暈(Corona Current)造成集塵效率衰退，如圖五所示。以該粉塵電阻率之煙氣條件進口濃度 $15,750 \text{mg}/\text{Nm}^3$ 評估，將最後一除塵區更換成 MEEP，且前五區除塵區之除塵元件皆不進行維護保養下，僅以 MEEP 搭配傳統 T/R Set，ESP 出口排放濃度可保證 $20 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ；若選擇搭配高頻 T/R Set，因其可使輸出電壓及電流提升增加電場強度，進而增加粉塵移動速度(W_k)以提升除塵效率，ESP 出口排放濃度可保證 $15 \text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

表二、台中電廠 1-4 號機設計煤質

設計煤	澳洲 Centennial Clarence 煤：40% 印尼 Advance Singlurus Pratama 煤：60%
硫(%)	0.93
飛灰含 MgO 量	1.392
飛灰含 Na_2O 量	0.252
煙氣流率(濕)(m^3/sec)	964
煙氣溫度	150
ESP 入口粉塵濃度(mg/Nm^3)	12,000
ESP 出口粉塵濃度(mg/Nm^3)	15
集塵效率(%)	99.875

而影響 ESP 效率的因素眾多，其中粉塵電阻率影響占比最大，視為各設計廠家評估的要點，然而粉塵電阻率深受飛灰成分的影響，兩者之間關係，如圖六所示。一般而言飛灰中的硫份越高，可有效抑制粉塵電阻率，ESP 效率將提升。飛灰中的氧化鈉與氧化鎂含量越低，其粉塵電阻率越大，ESP 效率將下降。此關聯性在各 ESP 設計廠家相去不遠。其他影響粉塵電阻率的因素，尚包括煙氣含水量、含氮量及煙氣溫度等，其中煙氣溫度越低，可有效將粉塵電阻率降低，且煙氣量降低，ESP 可延長飛灰充電的處理時間，這也是為何 LLESP 可有效提升 ESP 除塵效率之原因之一。



圖六、粉塵電阻率及飛灰中的氧化鈉+氧化鎂之關係曲線

3.3.2 ESP 集塵效率公式

靜電集塵器之集塵效率 η (%)，可根據下列 ESP 集塵效率公式(Deutsch Equation)

求出：

$$\eta = 1 - e^{-(SCA \cdot W_k)^{0.5}}$$

η = 集塵效率(%)

SCA=集塵面積比 A/Q ，其中 A = 集塵面積(m^2) / Q = 煙氣體積流率(m^3/s)

W_k = 粉塵移動速度(m/s)

由上述公式可得知集塵效率隨集塵面積(A)的增加而增加，隨煙氣體積流率(Q)的

減少而減少，此兩參數相除定義為集塵面積比(Specific Collection Area, SCA)，此數值為評估 ESP 大小的重要參考依據，通常根據設計煤之成分做彈性選擇，如煤中含硫量高時，可搭配較小之 SCA 以降低成本；若煤中含硫量低時則須選擇較大之 SCA 以達所要求之集塵效率。粉塵移動速度(W_k)與粉塵粒徑大小、粉塵電阻率、煙氣黏度、放電極與集塵極板間距、集塵器電壓平方有關，絕大多數的 ESP 設計廠家以經驗值作為依據，理論公式僅供參考。然而細小的粉塵顆粒會導致粉塵移動速度 W_k 降低，影響 ESP 效率，且在集塵極板上附著力高，敲擊難以移除，易造成逆電暈離子化現象，將使 ESP 性能衰退。

3.3.3 MEEP 尺寸與集塵效率計算

根據設計煤值資料(3 印+2 澳的配比)，如表二，其煤中的硫分、飛灰中氧化鎂、氧化鈉等諸多參數以及運轉條件需求(如煙氣溫度、煙氣量、粉塵出口濃度)等來規畫設計所需 MEEP 的尺寸大小。

在結合前五區固定式 ESP 與第六區 MEEP 後，修正集塵效率公式如下：

$$\eta = 1 - e^{-(SCA1 \cdot W_{k1} + SCA2 \cdot W_{k2})^{0.5}}$$

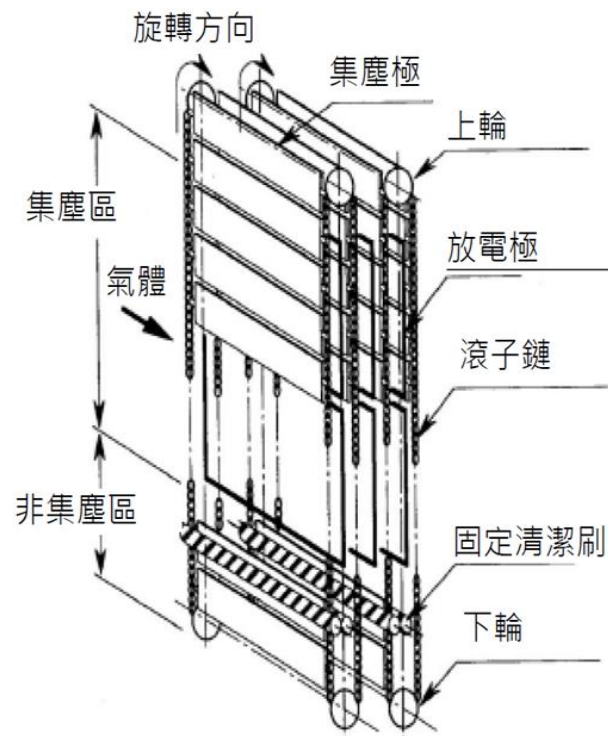
參考 ESP 設計資料如下圖七所示，其中前五區之集塵面積比為 $SCA1 = 111.6(m^2s/m^3)$ ，第六區 MEEP 之集塵面積比為 $SCA2 = 17.6(m^2s/m^3)$ ，而粉塵移動速度係根據 ESP 設計廠家經驗值得知 $W_{k1} = 0.3(m/s)$ ， $W_{k2} = 0.8(m/s)$ ，數值代入公式後驗證， $\eta \approx 99.899\%$ > 設計值 99.875%，理論上除塵效率可達到所需設計值。

No.		1st to 3rd fields	4th & 5th fields	6th field (Moving electrodes)
(1)	No. of chamber (C)	2	2	2
(2)	No. of units (U)	2	2	2
(3)	No. of fields (F)	3	2	1
(4)	C.E. plate length (L)	4.375 m	5.255 m	4.0 m
(5)	Effective height (H)	15.25 m		15.0 m
(6)	No. of gas passage (N)	28		23
(7)	Electrode spacing (P)	400 mm		460 mm
(8)	Collecting area (300P) (S) =C×U×F×L×H×N×2	107,649 m ²		16,928 m ²
		124,577 m ²		
(9)	SCA (at 300mm pitch)	(111.6 m ² /m ³ /s)		(17.6 m ² /m ³ /s)

圖七、台中電廠 1-4 號機 ESP 設計資料

3.4 MEEP 配置及功能

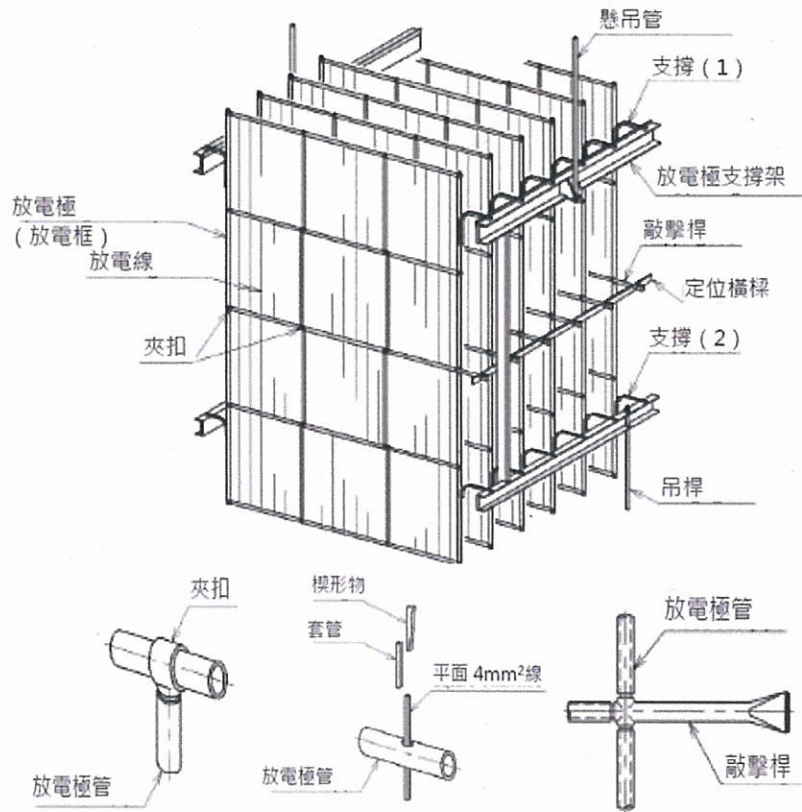
MEEP 結構如下圖八所示，以滾子鏈連結多個條狀集塵極板，以極低速度移動時，同時收集粉塵。利用位於底部的固定清潔刷，幾乎可完全刮除集塵極上收集的粉塵。故很難發生逆電暈情況且可維持高性能。正常運轉情況下，集塵極板移動速度為 0.14m/min。當煙氣通過系統時，MEEP 應保持移動而不會停止運轉。啟動 MEEP 操作時，必須目視檢查是否有扭曲情況。若發生扭曲，在排除扭曲前不得啟動操作。另外需注意 ESP 入口的煙氣溫度，不得超過 150°C，避免非預期性的熱膨脹導致轉動困難。



圖八、MEEP 結構

3.4.1 MEEP 放電極

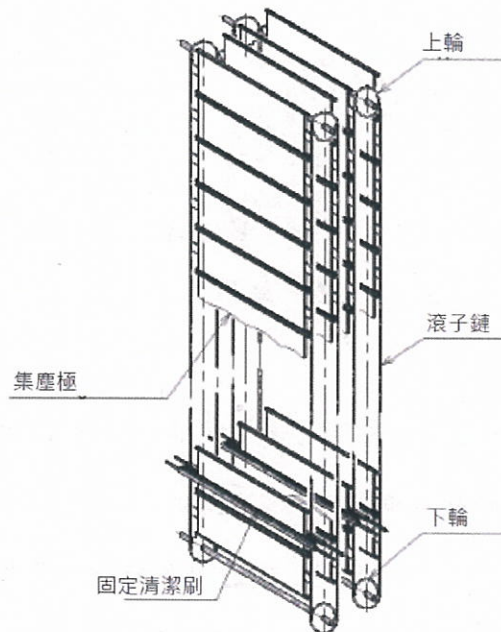
放電極為結合放電極管（放電框）與放電線之結構，如圖九所示。放電線使用特殊鋼材，利用套管及楔塊固定在放電框上。放電框以放電框支撐固定，確保相鄰放電框之間保持規定的間隔距離，放電框支撐利用通過礙子的吊管懸吊。各放電框中心設置敲擊桿，用以拍打附著粉塵。



圖九、MEEP 放電極結構

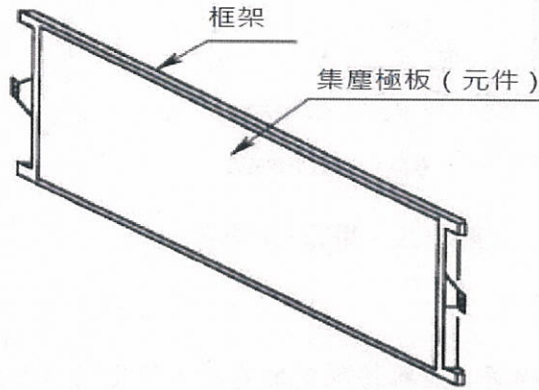
3.4.2 MEEP 移動集塵極

移動式集塵極由多個以滾子鏈相連之條狀集塵極板組成，數個移動集塵極以等間距置於集塵室中。



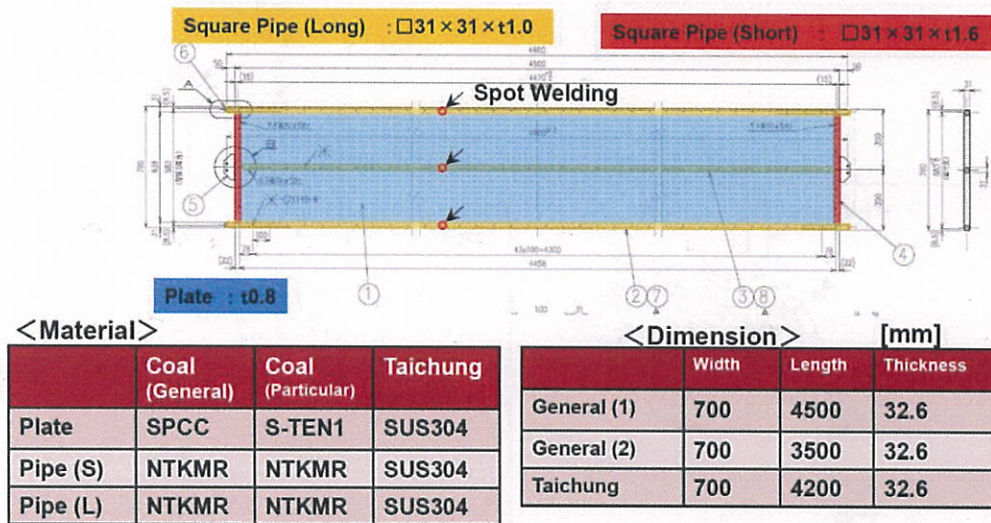
圖十、MEEP 移動集塵極結構

集塵極板元件係由方鋼管(square pipes)及 2 片薄鋼板組合而成的框架，如圖十一所示，方鋼管的功能為保持集塵極板的平整度及強度，薄鋼板以點焊(Spot Welding)方式固定在框架上。將集塵極板元件固定在以方鋼管製成的框架兩側，組成集塵極板之結構。



圖十一、集塵極板元件

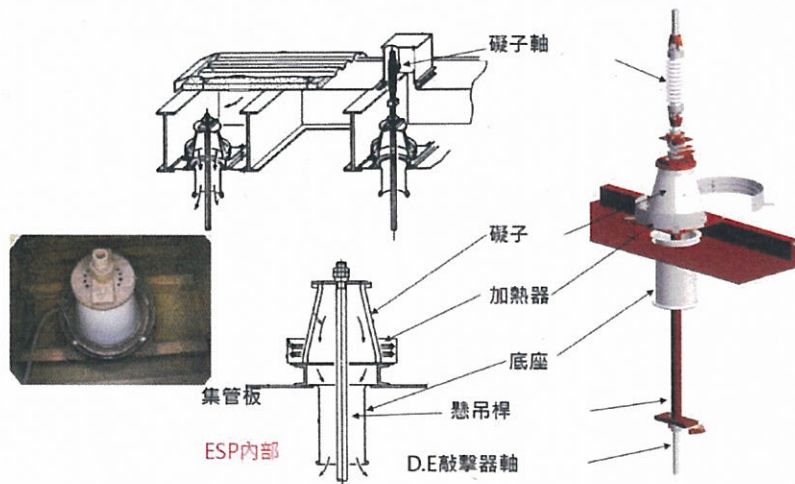
一般而言，集塵極板材料用冷軋鋼板(Steel Plate Cold-Rolled Coil, SPCC)或耐酸鋼(S-TEN1)即有良好集塵效果，如圖十二所示。然而本次台中電廠的 MEEP 集塵極板材質提升為不鏽鋼板(SUS304)，更不易出現腐蝕問題。



圖十二、集塵極板選用材料

3.4.3 MEEP 礙子室

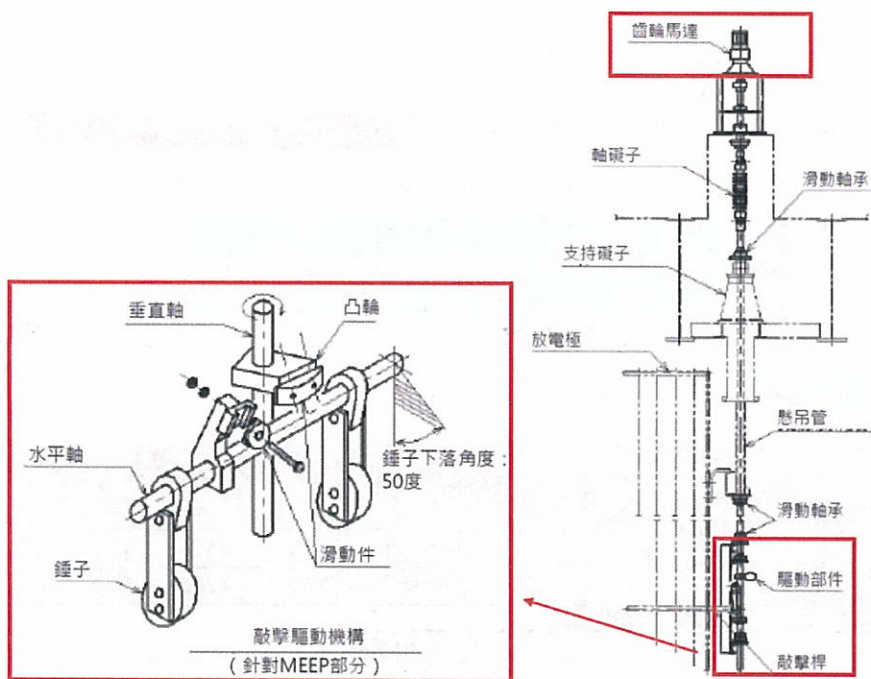
放電極利用支持礙子(support insulator)以完全對地(集塵極)絕緣，內部設置加熱器及送風系統，以避免露點凝結及 ESP 內部粉塵逸散至礙子室內，造成集塵效率下降，如圖十三所示。



圖十三、MEEP 凝子室

3.4.4 放電極敲擊裝置

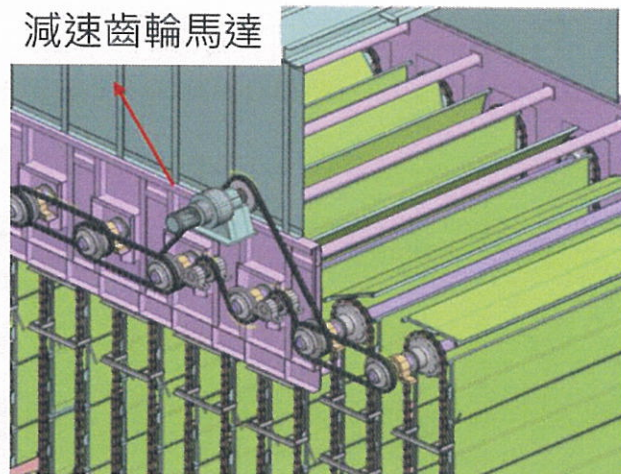
為防止粉塵在放電極上附著，並維持穩定的電荷，須定時以擊錘敲擊放電極線框的中心，放電極敲擊裝置是多個放電框的擊錘安裝在水平軸上，並透過減速機驅動，如圖十四所示。



圖十四、放電極敲擊裝置

3.4.5 移動集塵極驅動單元

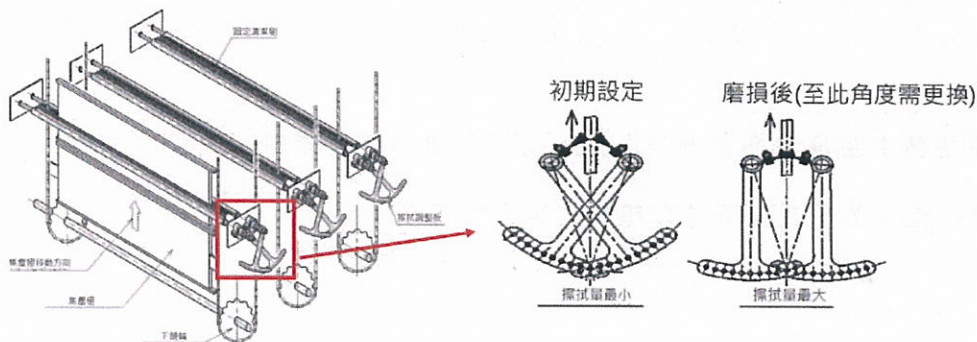
位於 MEEP 上部的上驅動輪，帶動環形鏈條轉動，如圖十五所示。依據煙氣性質，決定集塵極的移動速度。假若試運轉後煙氣性質改變，亦可調整速度以適應煙氣性質變化。驅動輪調整的頻率範圍為 20~60Hz。建議使用 20Hz 低速驅動以減少移動集塵極與固定清潔刷的摩擦。若以高速驅動集塵極的移動速度，會使上方驅動鏈輪的磨損加劇及鍊條加速鬆弛，廠家建議避免以高速持續運轉超過一週。



圖十五、移動集塵極驅動單元

3.4.6 刮塵單元

位於移動式集塵極下部的固定清潔刷，刮除附著及聚積在移動式集塵極表面的粉塵，如圖十六所示。每個集塵極通道設置兩個固定清潔刷。利用擦拭調整清潔刷，確認集塵極板與清潔刷之間有接觸，否則刮除效果將降低。建議每次停機時檢查此狀態。



圖十六、刮塵單元

第四章 MEEP 製造工廠參訪

MEEP 機械部分之零組件由「大力機械廠」及「新興冷凍機株式會社」分包商製造、組裝，另外參訪「北富士オリジン電氣廠」T/R SET 的製造與控制系統測試過程，以及「三菱日立重工神戶廠」ESP 模擬實驗室，底下將逐一介紹。

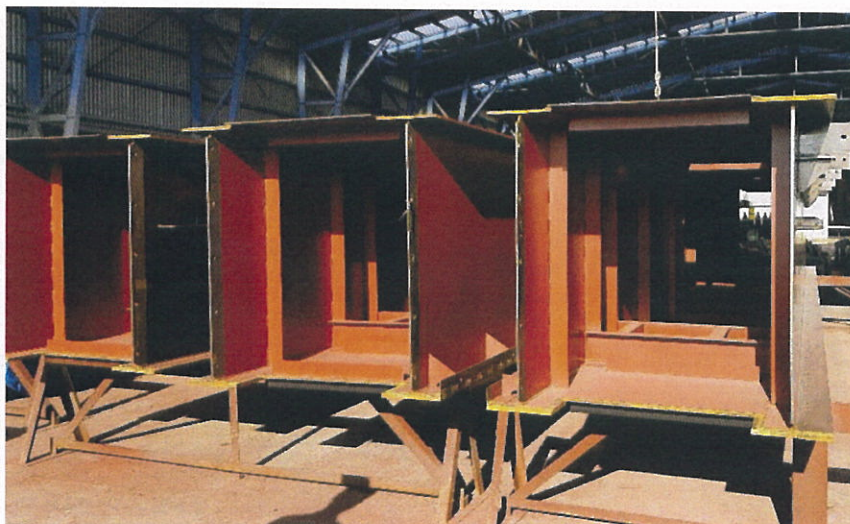
4.1 MEEP 機械部分組裝製造—大力機械廠

該公司成立於西元 1964 年，主要從事鋼構製造、機械器具設置，並擁有多項認證，包含 ASME SECVIII 及 ISO 9001 等。該公司長期與日立 ESP 部門合作(於 2014 年併入 MHPS)生產集塵設備，包括靜電集塵器、袋式集塵器及脫硫設備等零組件的製造。



圖十七、與大力機械廠員工合照

本次工廠參訪主要目的為台中 1-4 號機 MEEP 零組件製造過程，包含 MEEP 之外殼、驅動裝置、極線框、灰斗及凝子室零組件，皆由該廠生產組立，如下圖十八至圖二十二所示。



圖十八、礙子室外殼



圖十九、極線框



圖二十、灰斗外殼

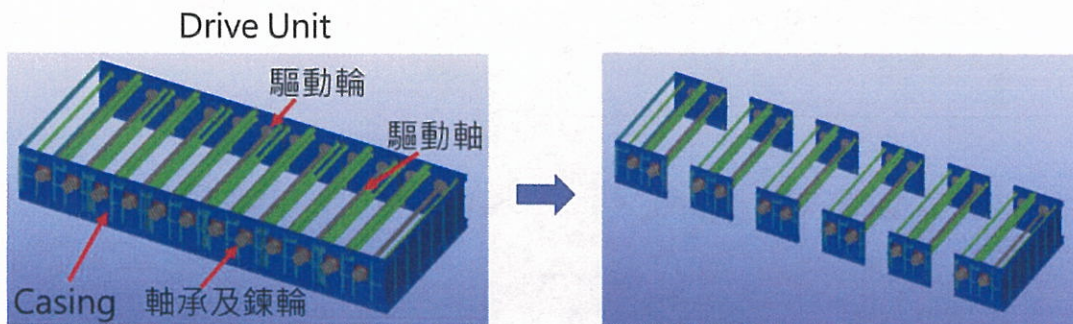


圖二十一、極線框部件使用自動銲接機器



圖二十二、MEEP 驅動裝置

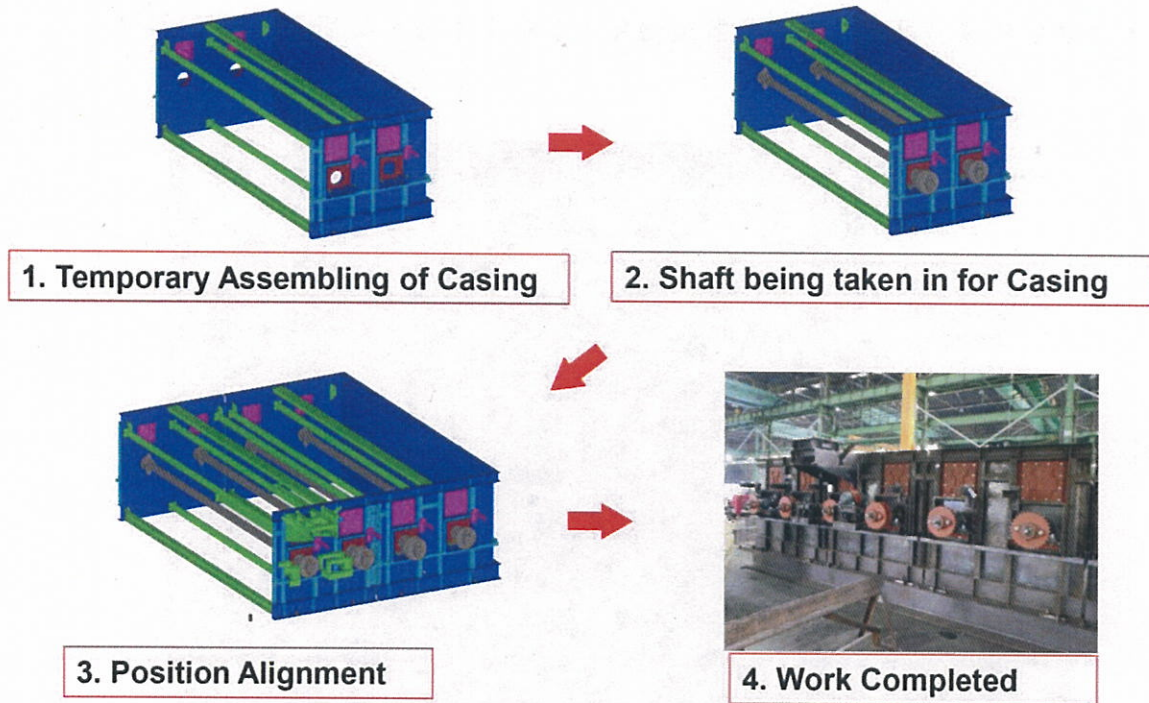
由於運送及裝箱容器限制，出廠前驅動裝置(Drive Unit)必須分割，每兩鏈為一單位，由每部機組共分成 24 單位分批輸送至台中電廠組裝，如下圖二十三所示。



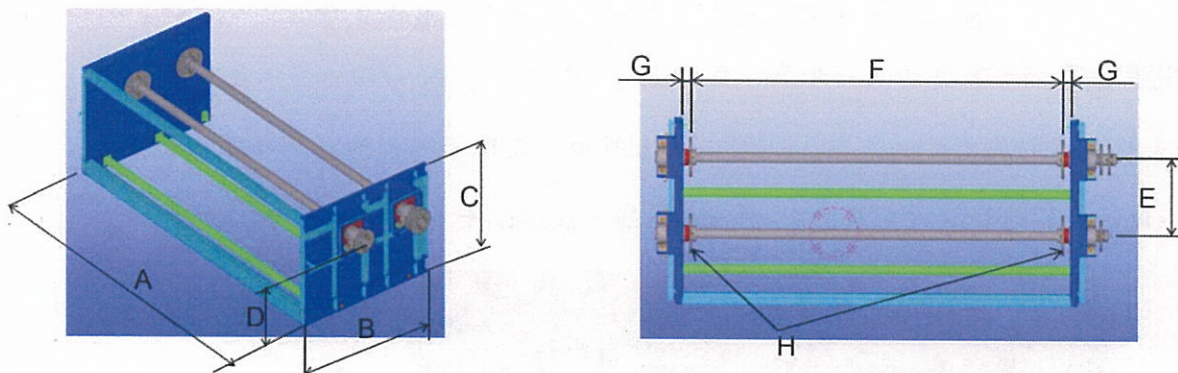
圖二十三、MEEP 驅動裝置(每兩鏈為一單位)

有關集塵極板驅動裝置組裝流程如下圖二十四所示，組裝過程若轉軸(shaft)長

度(F)偏差超過 1mm，恐導致集塵極板轉動不順利，鍊輪對心不良，角度(H)偏差超過 1 度，帶動極板的鏈條容易脫輪，因此必須檢查尺寸是否符合誤差範圍，如圖二十五所示，確保鏈條順利帶動集塵極板移動。



圖二十四、集塵極板驅動裝置組裝流程

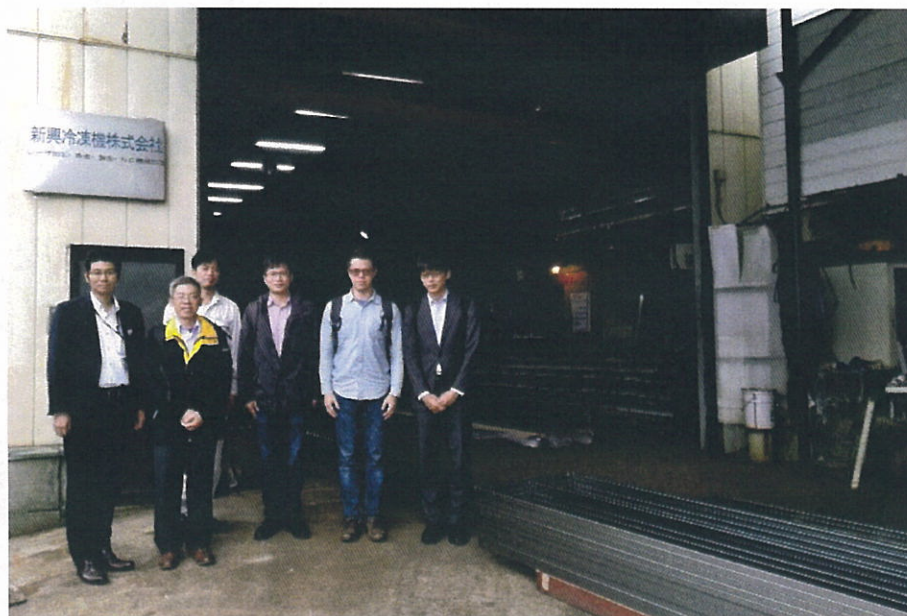


- (1) Length Dimension A : 4850 ± 8
- (2) Width Dimension B : 1810 ± 6
- (3) Height Dimension C : 1765 ± 6
- (4) Height Dimension up to Shaft D : 1205 ± 6
- (5) Dimension between Shafts E : 920 ± 1
- (6) Driving Wheel Clearance Dimension F : 4503 ± 1
- (7) Clearance Dimension between Casing & Wheel G : 94 ± 2
- (8) Wheel Disagreement H : 0 ± 1

圖二十五、MEEP 驅動裝置組裝誤差容許範圍

4.2 MEEP 機械部分組裝製造—新興冷凍機株式會社

新興冷凍機株式會社為一小規模之機械加工廠，是 MHPS 製造 MEEP 集塵極板的協力廠商，透過參訪該公司集塵極板的製造過程，了解生產細節及 MHPS 對產品品質之要求。

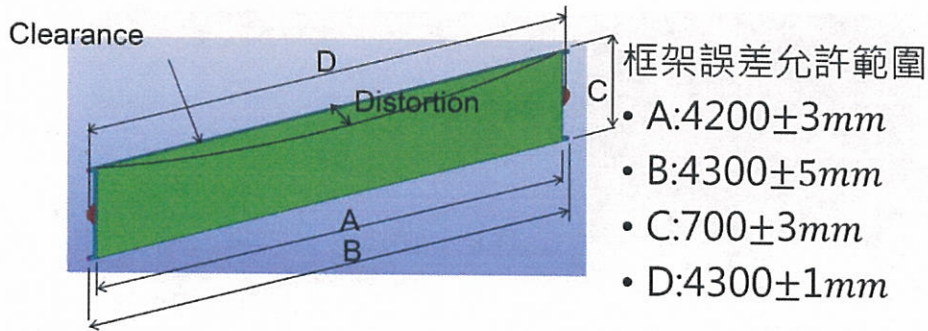


圖二十六、與工廠人員合照於新興冷凍機株式會社

MEEP 集塵極板製造的第一步為使用方鋼管(square pipes)為材料，並利用治具(JIG)大量生產相同尺寸的框架，如圖二十七所示。製造過程需檢查框架誤差範圍是否符合規範，確保鏈條順利帶動集塵極板移動，如圖二十八所示。



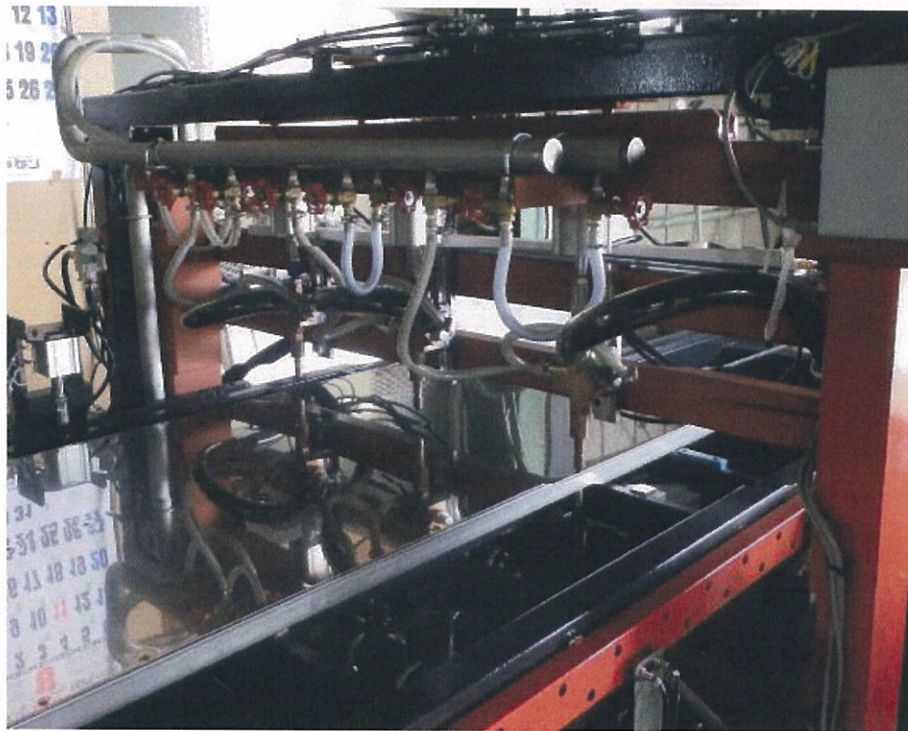
圖二十七、MEEP 集塵極板框架製造



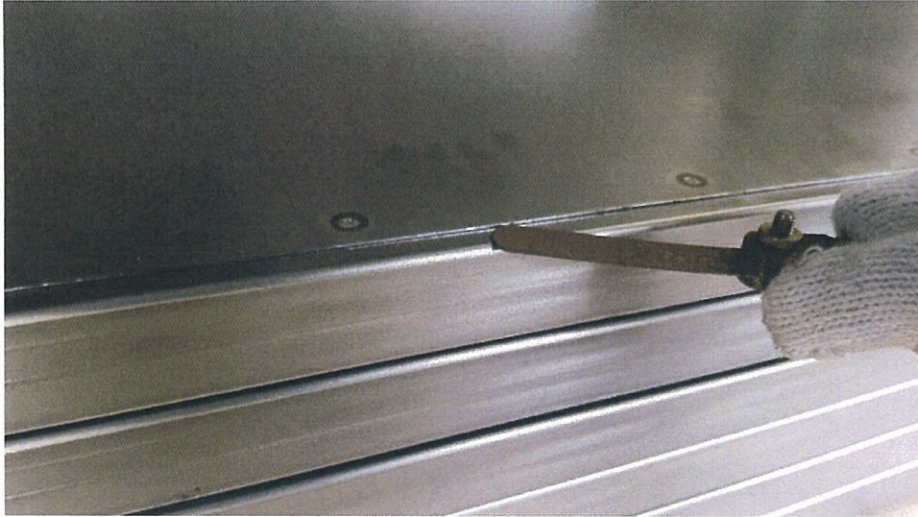
圖二十八、框架誤差允許範圍

第二步為透過自動焊接，將 2 片薄鋼板以橫向方式採上下兩面同時作 3 點點焊 (spot welding)，使薄鋼板固定於框架上，如圖二十九所示。

由於使用自動焊接，電焊之工作電壓、電流等參數，需先在測試件上試焊確認焊接狀況良好後，再投入生產。框架與鋼板必須緊密結合，當框架與鋼板間隙變大時，粉塵將會入侵，進而影響 ESP 性能，因此極板在焊接後需以厚薄規 (Clearance Gauge) 檢查，確認框架與鋼板間隙符合規範 ($< 0.5\text{mm}$)，如圖三十所示。由於不鏽鋼 (SUS304) 膨脹係數大於碳鋼，薄板點焊後較容易產生間隙，當間隙大於 0.5mm 時，須再對該處增加焊點，確保間隙符合規範要求。以上步驟完成後的集塵極板元件 ($55\text{kg}/\text{片}$) 依序裝箱封存，如圖三十一及圖三十二所示。



圖二十九、以自動焊接機器進行點焊固定



圖三十、厚薄規(Clearance Gauge)檢查間隙($<0.5\text{mm}$)



圖三十一、點焊完成後的集塵極板元件(55kg/片)



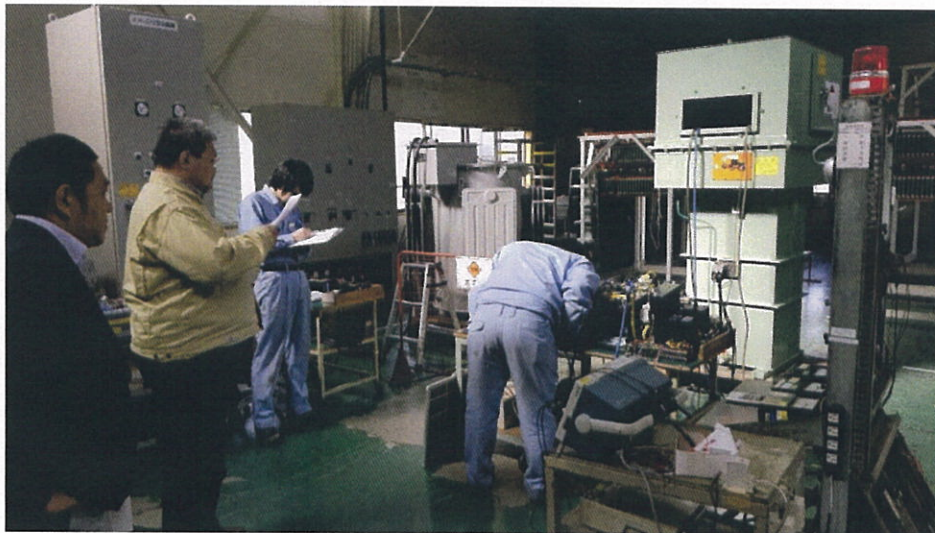
圖三十二、集塵極板元件裝箱封存

4.3 北富士オリジン電氣廠

北富士オリジン電氣廠為一開發、設計和製造各種電源和變壓器之廠商，尤其是製造安裝在電源供應器上各式容量的高電壓電源及變壓器。

MHPS 的靜電集塵器部份的 T/R SET 由該廠生產。由於台中電廠 AQCS 工程中 MEEP 所使用之 T/R SET 容量較大(1,000KV)，MHPS 在日本國內並無生產，必須向外國採購。此行參訪是見習在日本國內生產、較小容量的 T/R SET 之製造及測試過程，如圖三十三及三十四所示。

T/R SET 組裝完成後必須在 MHPS 人員的會同下，進行控制系統的測試及加載試驗，確認設備的功能正常後才會出廠至現場安裝。



圖三十三、製造完成的 T/R Set 在 MHPS 技師的會同下進行測試



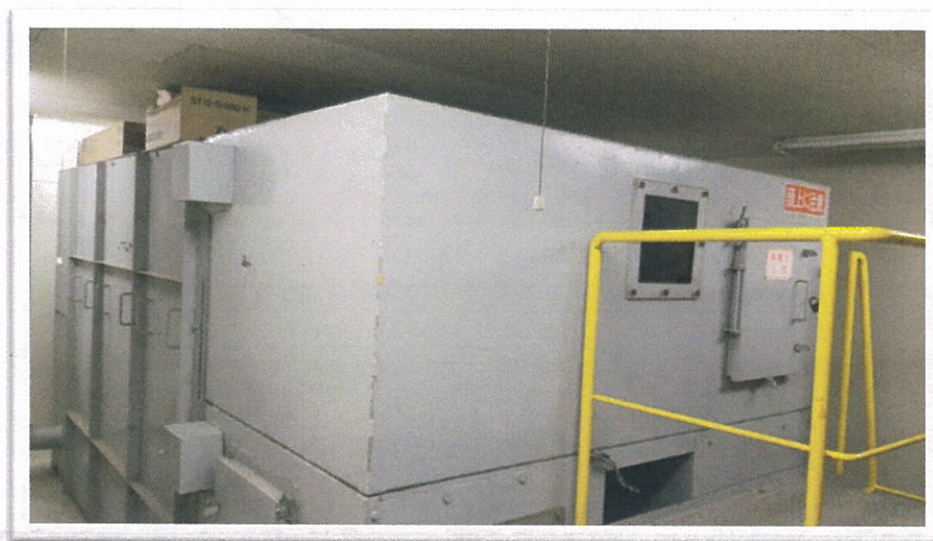
圖三十四、靜電集塵器的電場模擬器



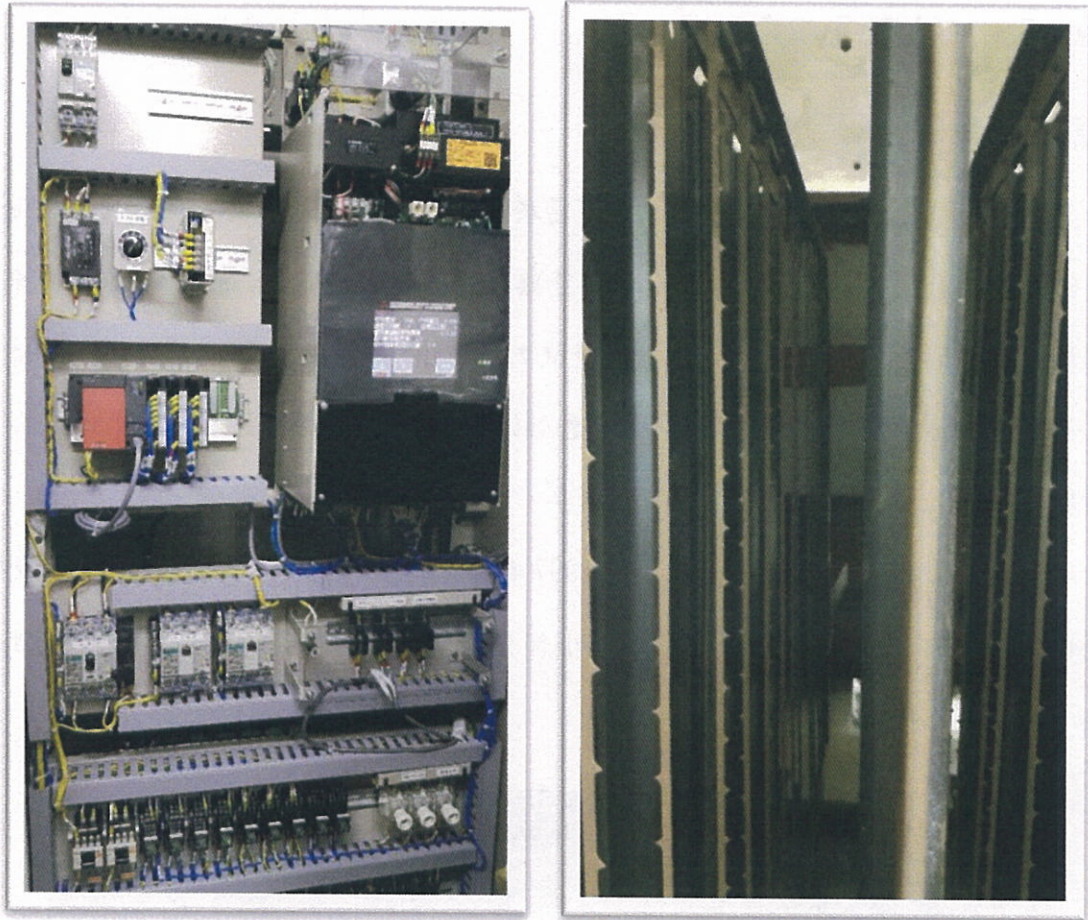
圖三十五、與北富士オリジン電氣廠社長合影

4.4 三菱日立重工神戶事業所

MHPS-ES 在兵庫縣神戶市三菱重工總部設置有 ESP 實體運轉及控制模擬實驗室。此次除了參訪 ESP 實驗室可實際看到靜電集塵器極板極線在加壓過程中的放電，觀察到火花以及逆電暈的形成，了解到靜電集塵器的運作情形，如圖三十六及三十七所示。



圖三十六、靜電集塵器的實體模擬器



圖三十七、靜電集塵器的 T/R SET 控制盤及集塵器內部配置情形

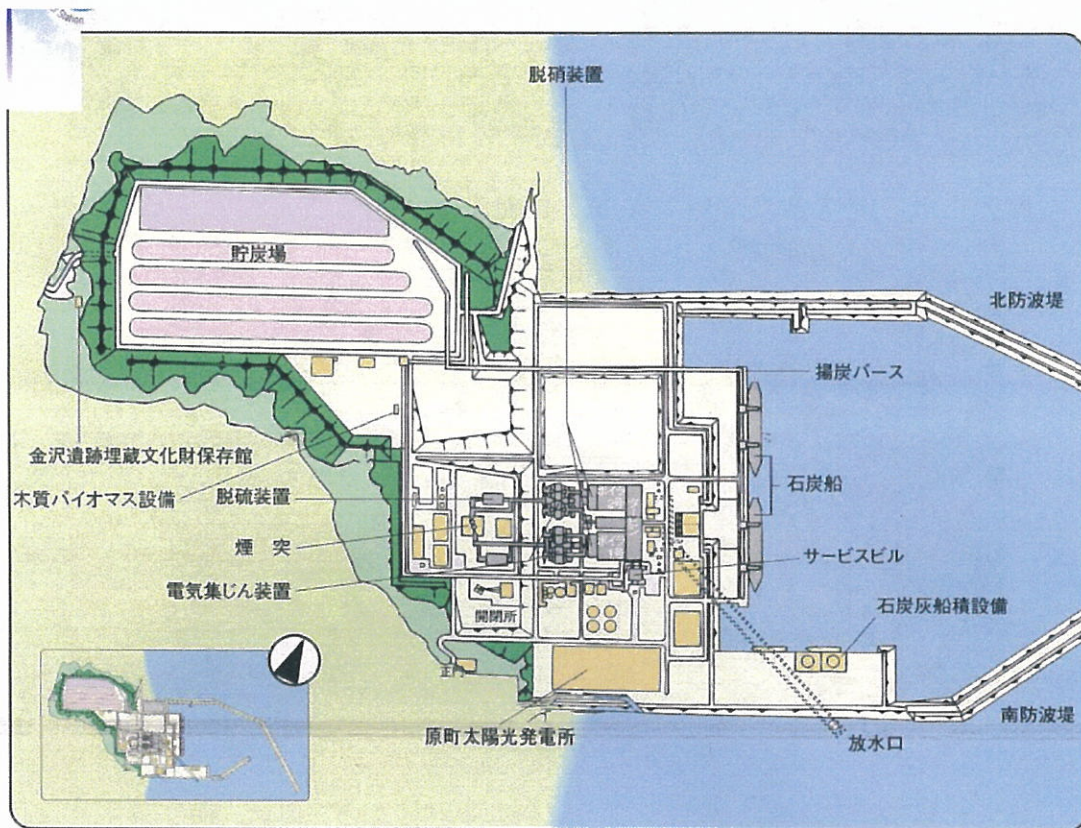


圖三十八、與 MHPS 電氣技師在三菱重工神戶總部合影

第五章 原町火力發電廠參訪

5.1 原町火力發電廠簡介

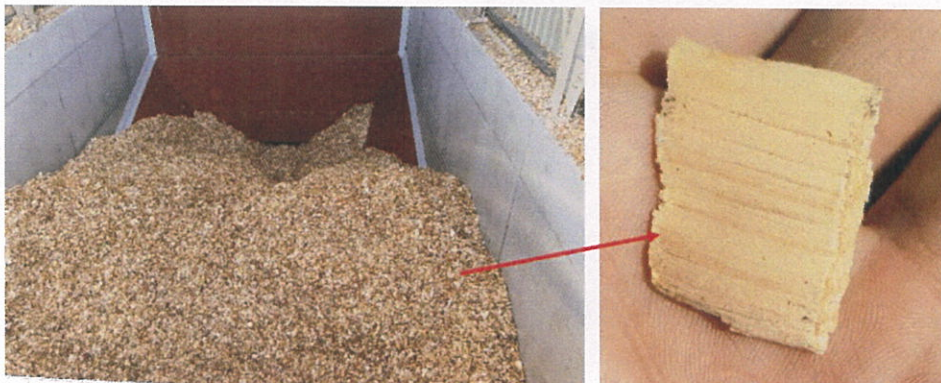
原町火力發電廠位於福島縣南相馬市，屬於東北電力公司轄下的燃煤電廠，該廠擁有 2 部 1,000MW 的超臨界鍋爐，分別由三菱與日立公司製造(現合併為 MHPS)，為東北地區最大規模的發電鍋爐設備，其中一號機主蒸汽溫度 566°C，再熱蒸汽溫度 593°C，主蒸汽壓力 24.5MPa，熱效率(LHV)可達 44% 以上。二號機之主蒸汽溫度和再熱蒸汽溫度都升高到 600°C，進一步提高熱效率。電廠相關廠區配置如圖三十八所示，其設備規格簡述如圖三十九所示。該廠於 1997 年 11 月宣布第一部機商轉，使用的燃料皆來自海外，但至 2010 年起開始混摻一小部分(1%)的木屑廢料(wood chip)作為生質燃料，如圖四十所示。



圖三十八、發電所平面圖

項目		1号機	2号機
竣工		平成5年2月	平成6年2月
運転開始		平成9年7月	平成10年7月
出力		100万kW	100万kW
ボイフ	型式	放射再熱式貫流型	
	圧力	25.40MPa (259kg/cm ²)	
	温度	570/595℃	604/602℃
	蒸発量	2,970t/h(最大連続)	2,890t/h(最大連続)
タービン	燃料	石炭(微粉炭)、軽油(補助燃料)	
	型式	二軸型4車室4流排気式再熱復水型	
	最終段翼長	41インチ	
	蒸気圧力	24.52/4.17MPa(250/42.5kg/cm ²)	24.52/4.33MPa(250/44.2kg/cm ²)
	蒸気温度	566/593℃	600/600℃
	出力	562,630/437,370kW	572,389/427,611kW
発電機	回転数	3,000/1,500rpm	
	型式	横置円筒回転界磁同期発電機	
	冷却方式	固定子：水直接冷却、回転子：水素直接冷却	
	容量	639,600/486,000kVA	652,900/475,200kVA
煙突	種類	鋼製2筒身集合煙突鉄骨支持形	
	寸法	高さ：200m、直径8m	
発電所敷地面積	約1,530,000m ² (内 理立面積：約470,000m ²)		
送電線	原町火力線(275kV×2回線、18.06km) 南相馬変電所に連系		
排煙脱硝装置	型式	乾式アンモニア接触還元法	
	処理ガス量	3,130km ³ /h(湿り)	
	出口NOx濃度	60ppm以下	
集じん装置	税別率	80%以上	
	型式	乾式電気式	
	処理ガス量	3,480km ³ /h(湿り)	
排煙脱硫装置	出口ばいじん濃度	0.15g/m ³	
	集じん率	99.3%	
	型式	湿式石灰石こう法	
給水処理装置	処理ガス量	3,610km ³ /h(湿り)	
	出口SOx濃度	69ppm以下(出口ばいじん濃度：25mg/m ³)	
	脱硫率	90%以上	
ろ過水タンク	前処理装置	高流速ろ過器+限外ろ過方式 [85t/h×3系列]	
	純水装置	2段逆浸透膜(RO)+カートリッジポリシャ方式 [50t/h×3系列]	
純水タンク	5,000kl×2基		
脱塩水タンク	5,000kl×2基		
燃料貯蔵設備	貯炭場	1,000kl×1基	
	軽油タンク	1,000kl×1基	
揚・運搬設備	貯炭場	屋外式：186,000m ² [貯炭量：694,000t]	
	揚炭機	鋼製円筒型円錐履帯式 [2,980kl×2基]	
	スタッカ	チェンバケット式連続アンローダ形 [1,500t/h×4基]	
	リクレーマ	ブーム旋回起状形 [3,300t/h×3基]	
	受入コンベア	ツインブームスクレーパ形 [1,800t/h×2基]	
払出コンベア	[3,300t/h×2基]		
送風ファン	[900t/h×2基]		
送風ファン	[高さ15m×長さ756m、高さ5m×長さ2,202m]		

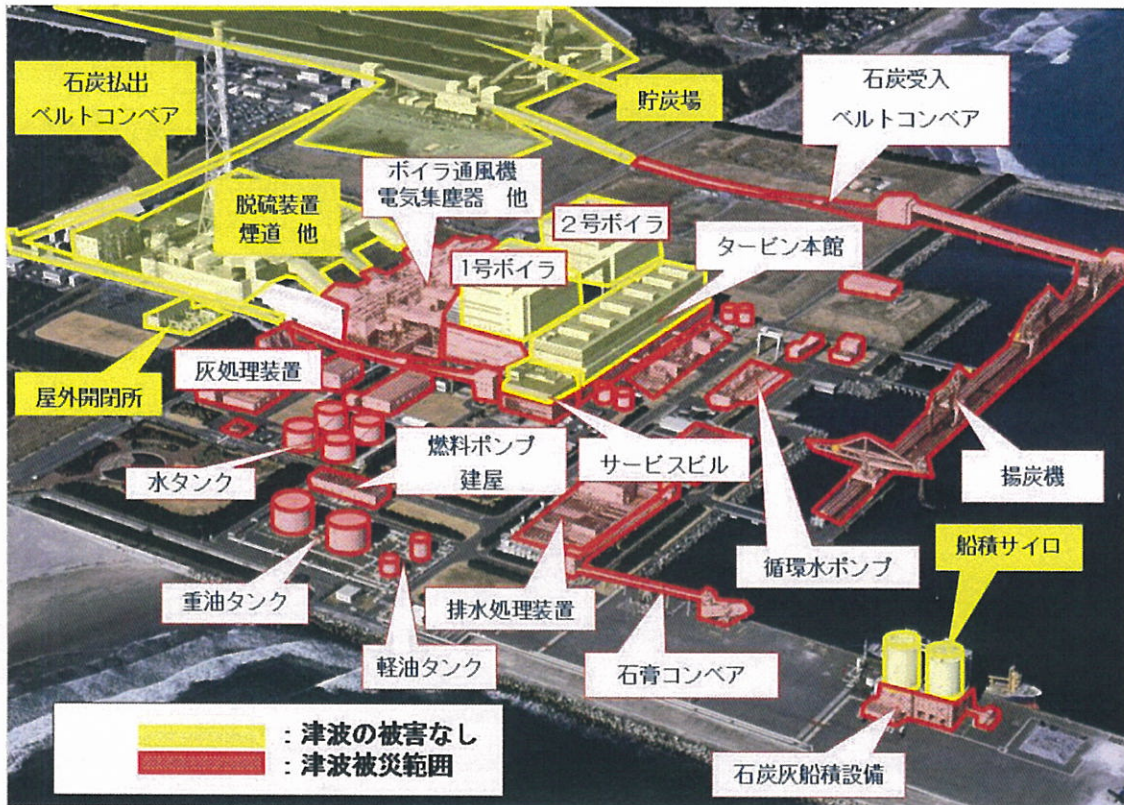
圖三十九、原町發電廠設備規格



圖四十、原町發電廠所使用之木屑廢料(wood chip)

2011年3月11日日本東北大地震引發大海嘯(高度18米),該廠整個廠區幾近摧毀,無法電力傳輸,受災情形如圖四十一所示。

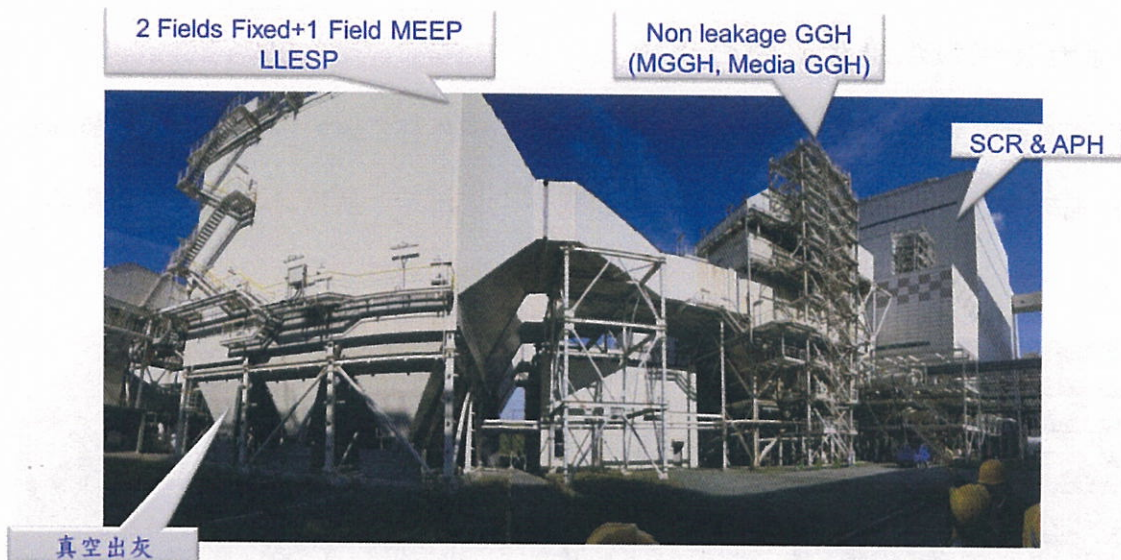
由於該廠臨近福島核電廠之緊急疏散準備區內,電廠直至2011年9月開始復原工作,花費逾1年半時間,依原設計重建,並在2013年3月29日二號機恢復運轉,同年4月26日一號機恢復營運。



圖四十一、東北大地震大海嘯廠區受災範圍

5.2 除塵設備參訪

本次參訪重點為原町二號機的除塵設備,如圖四十二所示,其使用2區固定式靜電集塵器+1區MEEP,與台中電廠改善相似。



圖四十二、原町發電廠區內除塵設備配置

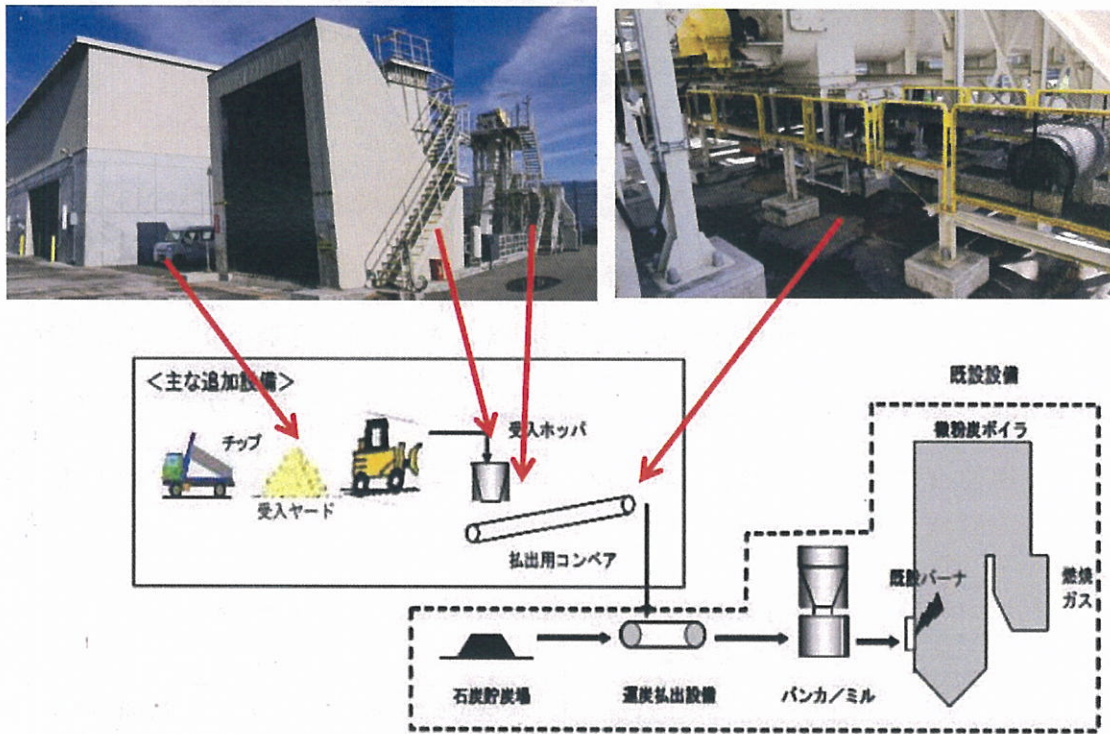
其中配置上最大差異為原町發電廠在 APH 後端設置 MGGH，可將 ESP 入口溫度從 170°C 降至 93°C，有效增加 ESP 除塵效率，可達 99.66% 以上，ESP 出口濃度保證值為 50 mg/Nm³，煙囪出口飛灰濃度可小於 25 mg/Nm³，其與台中電廠除塵設備參數比較如下表所示：

表三、原町發電廠與台中發電廠除塵設備參數比較

設計煤質	原町發電廠		台中發電廠	
	Saxonvale 澳洲煤		Centennial Clarence 澳洲煤 40%	Advance Singlurus Pratama 印尼煤 60%
灰份	15.4%		15.3%	4.9%
除塵設備配置	2 區固定式 ESP +1 區 MEEP		5 區固定式 ESP+1 區 MEEP	
ESP 入口溫度	93°C		150°C	
煙氣體積	3480km ³ N/h(wet)		3471km ³ N/h(wet)	
入口粉塵濃度	14900mg/Nm ³		12000mg/Nm ³	
出口粉塵濃度 (保證值)	50mg/Nm ³		15mg/Nm ³	
集塵效率(保證值)	99.66%		99.875%	
集塵極板尺寸(m) (W x H)	1 st -2 nd	3 th	1 st -5 th	6 th
	4.67 x 15	3.5 x 15	4.375/5.255 x 15.25	4 x 15
通道數量	100	60	112	92
電極間距(mm)	300	460	400	460
集塵面積(m ²)	68640		91777	
SCA(m ² s/m ³)	59.57		129.2	

5.3 原町發電廠燃燒生質燃料討論

由於原町發電廠實施生質燃料混燒，參訪期間，特別參觀廠區的生質燃料的存放與混摻至輸煤皮帶送至鍋爐燃燒的流程，如圖四十三所示，並探討對鍋爐本體及其附屬設備與後端 ESP 的影響。



圖四十三、生質燃料混燒流程

由於東北地區林業發達，福島縣內擁有大量的建築木材，因此電廠充分蒐集當地未利用的木屑廢料(wood chip)，在不更改現有設備(如粉煤機、燃燒器等)情況下，參雜 1% 的木屑與煤炭進行混燒，目前一年使用約 4 萬噸木屑，估計可削減 1.3 萬噸煤炭使用量及 3.3 萬噸的 CO₂ 排放量(相當於 7300 個家庭一年 CO₂ 的排放量)。

然而木屑廢料或其它的生質燃料若添加過量，將使粉煤機可研磨量大幅降低，造成未燃碳(UBC)升高，而後續產生之飛灰會包住 UBC 導致灰電阻值大幅降低，在 ESP 中不易被捕捉，降低集塵效率。因此需特別考量粉煤機及 ESP 的性能影響。

再者，因生質燃料的 Na、K 及 Cl 離子含量不易掌握，若超過一定含量，恐導致鍋爐爐管積灰或者加速火側腐蝕，另外也會引起脫硝觸媒集塊的毒化，使其壽命銳減。因此，根據鍋爐及粉煤機廠商之建議，原町發電廠僅止於 1% 的生質燃料添加量。本公司若要有意進行生質燃料混燒仍需與鍋爐及粉煤機廠商作詳細評估後再實施為宜。

第六章 心得與建議

1. 有關台中 1-4 號機 MEEP 的維護保養策略，建議如下
 - (1) 中一機 ESP 效率試驗期間，第一區的電流有偏低狀況，廠家初步認為放電極可能有粉塵附著，影響其放電，建議大修時有必要對該區再做檢查，以提升機組效率。
 - (2) 台中發電廠曾發生煙囪出口不透光率(Opacity)異常上升情形，然而不透光率並非全然是 ESP 故障造成，因此當面對煙囪出口不透光率發生異常變化時，必須先檢查 ESP 的電壓電流加壓是否異常，排除是否為 ESP 故障或性能不良造成，再進一步找尋真因。
 - (3) 機組大修前應確實執行定期檢查並妥善擬定大修檢修計畫。於停機定檢或大修期間，需確實量測鏈條伸長量、軸承及鉛板磨耗量，並定期更換耗材，如旋轉清潔刷、鏈輪等元件，以確保運轉安全。
 - (4) 鏈條伸長量有影響運轉之虞。當鏈條伸長量大於 215mm 時，將使灰斗兩側之移動極板碰觸到灰斗而接地，此時依照設計必須切除 4 節鏈條，另將一片寬 700mm 極板換成寬 295mm 之極板。預估此時程約需 6 年，因此維護部門須在每次的檢修中確實做好量測檢查工作。
 - (5) ESP 檢修有大量的吊掛作業，為降低吊掛作業的工安風險，未來在更換移動極板時應參考廠家作業標準，以批量吊掛作業方式來減少吊掛次數，以減少作業風險。
2. 根據 MEEP 在中龍鋼鐵的使用經驗，由於運轉溫度不穩定，會有運轉在露點溫度(約 65°C)的情形，此時會有 SO₃ 的析出，而在灰硫比低的情形下，容易造成集塵極板腐蝕，且粉塵卡於鍊條中間，導致鍊條固化卡死，無法平順轉動。因台中電廠 ESP 進口溫度約 150°C，且 MEEP 集塵極板採用 SUS304 不鏽鋼，預估應不會發生中龍鋼鐵相同的情形。
3. 由於製造精度要求甚高，加上安裝及維護的技術層次要求較高等因素，MEEP 在中國大陸使用情形並不理想，經常發生運行不佳且故障率高等情形。因此需嚴格要求台中電廠的安裝品質，以及注意後續運維狀況，以防設備故障造成集塵效率下降情形。
4. 優質的品質文化、管理系統和教育訓練，決定良好的工作結果和產品品質。從日本工廠參訪過程中發現無論其工廠規模大小，管理者都會致力做到整理、整頓以及對品質的要求，使工廠的環境及產品的品質達到一定的要求。此為值得吾等學習之處。