

出國報告（出國類別：實習）

林口電廠更新擴建計畫微粒移除系統及其附屬設備設計、製造、測試、運轉及維護實習

服務機關：台灣電力公司

單位：發電處

姓名職稱：林邦駿 發電處 機械工程師

單位：核能火力發電工程處

張群孟 核能火力發電工程處 機械工程師

派赴國家：日本

出國期間：105年11月24日至105年12月21日

報告日期：106年3月3日

出國報告審核表

出國報告名稱：林口電廠更新擴建計畫微粒移除系統及其附屬設備設計、製造、測試、運轉及維護實習

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：林口電廠更新擴建計畫微粒移除系統及其附屬設備
設計、製造、測試、運轉及維護實習

頁數 41 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

林邦駿/台灣電力公司/發電處/機械工程師/02-23666519

張群孟/台灣電力公司/核能火力發電工程處/機械工程師
/02-23229541

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習 5 其他

出國期間：105 年 11 月 24 日至 105 年 12 月 21 日

出國地區：日本

報告日期：106 年 3 月 3 日

分類號/目

關鍵詞：粒狀物去除系統、袋式集塵器 (Fabric Filters)

內容摘要：(二百至三百字)

電力是現代化生活之的基石，其中火力發電正為台灣當前發電
技術之主流，且在基於能源原料(石油、天然氣、煤)之蘊藏量不一

及經濟成本的考量下，燃煤發電還是未來幾十年的主要選擇，但伴隨著燃煤發電則是空氣污染的問題，面對了日趨嚴格之環評要求，空污處理的能力已是火力電廠營運中最重要的議題之一。

本次實習林口更新擴建計畫之粒狀污染物去除設備(Particulate Removal System，簡稱 PRS)，採用的是 GE 公司所設計製造的袋式集塵器 (Fabric Filters)，其佔地面積小、投資成本低且在良好的設計下，其粒狀物排放濃度低於 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，可符合環保排放標準。

經由此次實習訓練，可以熟悉 PRS 工作原理、機件構造、測試調整方法及故障排除等檢修要領，對於未來設備運轉及維護上將有所助益。

目 錄

壹、目的與過程.....	1
貳、GE/Alstom 公司介紹.....	2
參、傳統袋式集塵器介紹.....	5
肆、實習內容.....	10
伍、實習心得.....	40
陸、建議事項.....	41
柒、參考文獻.....	41

表目錄

表 1 出國實習日期及內容.....	2
表 2 袋式集塵器相關設計參數.....	13
表 3 濾袋材質比較表.....	20
表 4 北海道現場參觀之電廠相關資料.....	31

圖目錄

圖 1 愛迪生電燈公司 1882 年開始發電業務.....	3
圖 2 GE 於 1957 年建造世界上第一個獲得許可的核能發電廠.....	3
圖 3 GE 於 2000 年推出 TM2500 氣輪機發電機組的行動發電廠...	4
圖 4 2004 年 GE 推出了 LMS100 航改燃氣輪機.....	4
圖 5 GE 於 2007 年推出首款 24 缸燃氣發動機.....	4
圖 6 GE 於 2015 年現金收購 Alstom 旗下全球電力業務	4
圖 7 GE 於日本神戶的訓練團隊.....	4
圖 8 左側為內部過濾，右側為外部過濾.....	6
圖 9 濾袋屋之粉塵處理示意圖.....	7
圖 10 濾袋式集塵器.....	7
圖 11 織布型濾材:斜織法與緞織法	8
圖 12 毛氈式的濾材.....	9
圖 13 袋式集塵器安裝位置示意圖.....	10
圖 14 袋式集塵器結構示意圖.....	11
圖 15 濾袋纖維不規則方向堆疊.....	12
圖 16 濾袋捕集微粒之方式.....	12
圖 17 利用脈衝空氣清潔濾袋.....	12

圖 18 袋式集塵器配置圖.....	14
圖 19 袋式集塵器剖面圖.....	15
圖 20 中央分隔牆示意圖.....	15
圖 21 濾袋板.....	15
圖 22 流場分析.....	16
圖 23 濾袋安裝完成照片.....	17
圖 24 進口式風門形式.....	18
圖 25 出口式風門形式.....	18
圖 26 旁通式風門形式.....	18
圖 27 脈衝空氣清潔系統.....	18
圖 28 脈衝閥結構圖.....	19
圖 29 脈衝閥開關示意圖.....	19
圖 30 EFFIC 控制系統.....	20
圖 31 注入孔位置圖.....	22
圖 32 線上塗裝示意圖.....	23
圖 33 噴嘴歧管拆除.....	24
圖 34 取出濾袋袋籠.....	25
圖 35 取出濾袋.....	25
圖 36 梶原鐵工廠.....	26

圖 37 與現場工程師合照.....	26
圖 38 鋼鐵加工及相關氣閥門壓力設備等產品製造	26
圖 39 精密加工設備.....	27
圖 40 泉株式會社.....	27
圖 41 與現場工程師交流討論.....	28
圖 42 廠家包裝完成之大林電廠所用之濾袋	28
圖 43 廠家提供相關原料.....	28
圖 44 濾袋材料與承受 200 度高溫時之強度折線圖	29
圖 45 濾袋與袋籠組裝流程.....	30
圖 46 濾袋外觀檢測.....	31
圖 47 北海道電力公司旗下火力發電廠.....	33
圖 48 ESP 改裝成 PRS 沿用靜電集塵器外殼.....	33
圖 49 砂川電廠煙囪排煙情形.....	34
圖 50 砂川及奈井江電廠發電流程.....	34
圖 51 奈井江及砂川電廠人員簡報.....	34
圖 52 發電處報告台電營運狀況.....	35
圖 53 運轉時數與發電量.....	35
圖 54 中控室.....	36
圖 56 鍋爐房頂端俯瞰整座電廠.....	37

圖 57 PRS 探視窗	37
圖 58 PRS 探視窗內觀洩漏位置	38
圖 59 調變式脈衝清潔裝置	38
圖 60 PRS 脈衝閥機組	39
圖 61 與電廠人員合照	40

壹、目的與過程

燃煤電廠的粒狀污染物質，主要成分是燃煤中的灰份，由於燃煤的來源不同，其灰份的含量也會有不同，通常在燃煤電廠離開爐膛的煙氣可含有 80-90%的灰份， $100\mu\text{m}$ 以上的顆粒會自然沈降， $10\mu\text{m}$ 的顆粒可依靠離心力等外力方式強制沈降， $1\mu\text{m}$ 的顆粒就必須依靠靜電力或是濾網等方式去除。目前的粒狀污染物去除裝置，普遍使用靜電集塵器或是濾袋式集塵器來達到高效率的去除效果，除了溫度濕度及煤灰的成分外，煙氣中所含的 SO_3 會對灰電阻率造成直接的影響，如煙器中含 7ppm 的 SO_3 與不含 SO_3 其灰電阻率相差超過 10 倍，故在現代化燃煤電廠通常在 ESP 前加裝有煙氣調節系統，以改善其鍋爐煙氣中 SO_3 的成分比例，達到降低灰電阻率以增加 ESP 集塵效率之目的。

粒狀污染物處理集塵裝置種類大致有重力集塵裝置、慣性力集塵裝置、離心力集塵裝置、洗淨集塵裝置、音波集塵裝置、過濾集塵裝置與電器集塵裝置，現在新型燃煤火力電廠通常採用離心力集塵裝置中之旋風式集塵裝置和 ESP 或濾袋集塵設備(Bag Filter, BF)來控制粒狀污染物的排放

林口更新擴建計畫之粒狀污染物去除設備 (Particle Removal System, 簡稱 PRS)，採用的是 GE 公司所設計製造的袋式集塵器 (Fabric Filters)，袋式集塵器為本公司首次採用之 PRS 設備，與 ESP 相比，其佔地面積小、投資成本低，且在良好的設計下，其粒狀物排放濃度低於 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，可符合日益嚴苛之環保排放標準。PRS 不需要使用高壓電，不存在水污染的問題。它的外型尺寸可以配合現場做調整，在設備配置上較 ESP 具彈性。且其去除效率不受飛灰組成成份的影響，如氧化鈉 (Na_2O)、氧化鉀 (K_2O) 等，不因燃料中的硫含量過低而降低去除效率，對於本公司燃用多元化之煤源，使用袋式集塵器具有正面的助益。

PRS 在工業上的應用技術已相當成熟，於林口電廠一號機目前已接受調度且二號機正由統包商試運轉，為使日後設備運轉及維護更順利，因此本次赴日本 GE 分公司研習。

本次赴日實習過程如表 1 所示，實習期間由 105 年 11 月 24 日開始，至 105 年 12 月 21 日為止，為期 28 天。訓練課程除包含在神戶研習袋式集塵器的設計原理、構造、運

轉維護技術外，也參訪姬路的鋼鐵工廠、奈良的濾袋工廠及至北海道使用袋式集塵器的電廠觀摩實際運轉情形，並與現場工作人員交換意見，使理論與實務相互結合。

表 1 出國實習日期及內容

起迄日	機構	實習內容
105 年 11 月 24 日		赴日本神戶
105 年 11 月 25 日至 105 年 11 月 28 日	GE	研習袋式集塵器設計原理及設備構造
105 年 11 月 29 日	GE	赴姬路市的梶原鐵工廠參觀濾袋框架製作
105 年 11 月 30 日	GE	研習袋式集塵器設計原理及設備構造
105 年 12 月 1 日	GE	赴奈良的泉株式濾袋組裝工廠參觀
105 年 12 月 2 日至 105 年 12 月 4 日	GE	研習袋式集塵器設計原理及設備構造
105 年 12 月 5 日至 105 年 12 月 8 日	GE	赴日本北海道電廠參觀學習袋式集塵器運轉情形
105 年 12 月 9 日至 105 年 12 月 20 日	GE	返回日本神戶研習袋式集塵運轉維護技術
105 年 12 月 21 日		返國

貳、GE/Alstom 公司介紹

Alstom 在日本總部設立於神戶，瑞典 Gadelius Trading 於 1907 年在此處成立公司，起初從事空氣預熱器的進口與生產工作，1951 年與 Flakt 合作，開始進行靜電集塵器進口與生產工作。1999 年正式被 Alstom 公司所併購，開始進行電力相關業務。該公司業務內容涵蓋空氣預熱器、環保設備、風力發電、電網、鐵路等範圍，但主要仍以電力為主。

GE 公司的歷史可追溯到湯馬士-愛迪生，他在 1878 年創立了愛迪生電燈公司且於

1882 年開始發電業務，並在紐約市建立美國第一個中央發電站(圖 1)。美國通用電氣公司於 1892 年 (General Electric Company，簡稱 GE) 由愛迪生通用電氣公司和湯馬士-休士頓公司合併而成。

1957 年 GE 建造世界上第一個獲得許可的核能發電廠(圖 2)，2000 年 GE 公司推出「可裝設在大型車上 TM2500 氣輪機發電機組的行動發電廠」(圖 3)，可以提供 22.8 MW 的發電量。2004 年 GE 推出了 LMS100 航改燃氣輪機(圖 4)，能夠在 10 分鐘內提供 100 MW 的功率，GE 的 J624 燃氣發動機在 2007 年是市場上首款 24 缸燃氣發動機(圖 5)。GE 於 2015 年斥資 124 億歐元 (170 億美元) 現金收購 Alstom 旗下全球電力業務(圖 6)。GE 是世界上最大的多元化服務性公司，從飛機發動機、發電設備到金融服務，GE 總部目前位於紐約州斯克內克塔迪，其公司在 2016 年收入約 270 億美元，全球員工約 55,000 人。

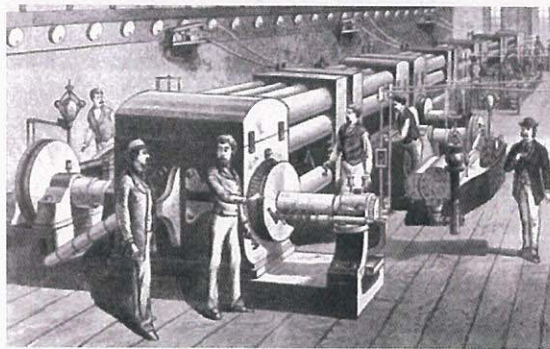


圖 1 愛迪生電燈公司 1882 年開始發電業務

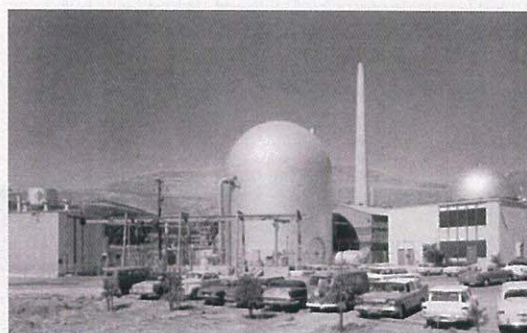


圖 2 GE 於 1957 年建造世界上第一個獲得許可的核能發電廠



圖 3 GE 於 2000 年推出 TM2500 氣輪機發電機組的行動發電廠

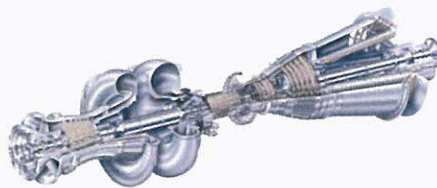


圖 4 2004 年 GE 推出了 LMS100 航改燃氣輪機



圖 5 GE 於 2007 年推出首款 24 缸燃氣發動機



圖 6 GE 於 2015 年現金收購 Alstom 旗下全球電力業務

目前本公司林口發電廠以及大林發電廠之更新擴建計畫的袋式集塵器是由該公司進

行設計製造，此次林口更新擴建計畫—袋式集塵器的國外訓練，係由 GE 所舉辦。在神戶上課的內容中，有關袋式集塵器的設計原理、運轉、維護部分，主要是由環保設備設計部門的喜久川經理及佐藤首席工程師為我們講授。於北海道的參訪行程，則由神戶總公司的專案經理今崎先生及丸山業務經理(圖 7)帶我們至各電廠拜訪，感謝 GE 公司安排理論與實務的實習課程，讓對我們對袋式集塵器有了更進一步的認識與瞭解。



圖 7 GE 於日本神戶的訓練團隊

參、傳統袋式集塵器介紹

袋式集塵器利用過濾作用(直接截取)原理來收集直徑大於 $0.3 \mu\text{m}$ 之粉塵，去除率 $>99\%$ 。廢氣通過袋式集塵器前需將廢氣降溫，可利用廢氣稀釋、輻射冷卻及蒸氣冷卻作為前處理。

一、濾袋式集塵器原理

袋濾式集塵器是使用不織布或毛氈為過濾材料，將廢氣中粒狀物污染物過濾掉的一種設備，具有高去除粉塵之效率，而且較不受飛灰組成成份的影響，亦不因燃料中的硫

含量過低而降低去除效率，亦不需要使用高壓電。

煙氣在通過濾袋時，可由內部或外部進入(圖 8)，由濾袋外部進入的設計，具有 on-line 清洗的能力以及較高比率的過濾面積，較常被使用，煙氣由濾袋外側流入濾袋內側，塵粒被阻截在濾袋的外側，乾淨煙氣則排放出去，而當塵粒累積到一定程度後，須利用高壓壓縮空氣，將濾袋外側塵粒除掉。

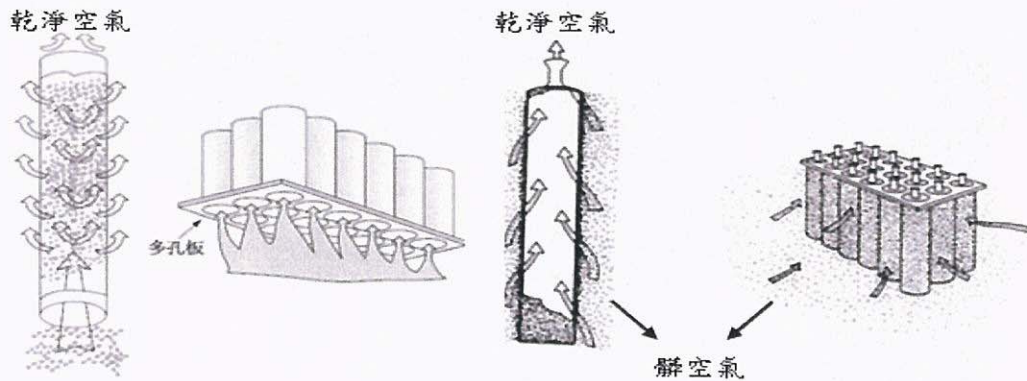


圖 8 左側為內部過濾，右側為外部過濾

廢氣之進氣口依濾袋屋之型式與製造商之不同而異。若進氣口在上方，向下流動的氣體會有一點清洗濾袋的作用，濾袋上粉塵清洗時隔可長一點；若廢氣由下方進入，進氣口通常就位於漏斗上方如下圖 9。下方進氣式在設計及製造上比上方者容易一些，但是應注意氣體流動方向及分佈情形，免得將粉塵自漏斗中再揚起。為了使含有粉塵的廢氣能夠均勻分佈在每個濾袋，在漏斗內靠近進氣管的地方通常會裝設擋板，使氣流分散。

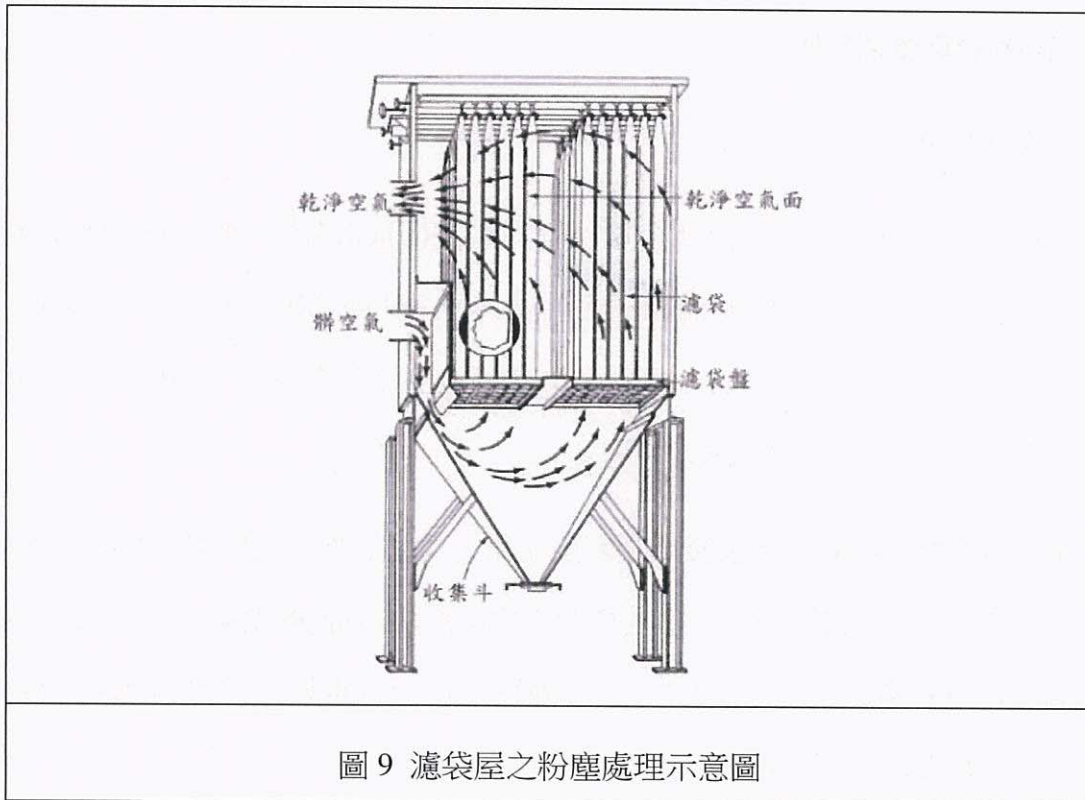


圖 9 濾袋屋之粉塵處理示意圖

二、濾袋與其配件

濾管長度及直徑依設計及製造商之不同而異，通常長度在 3-12 公尺、直徑在 0.15-0.45 公尺間。濾袋通常垂直懸掛，下方或上方用鐵環、鐵帽、夾具或扣環等支持圖 10。多孔鋼板也用在某些系統作為濾袋支撐之用。外部過濾系統之濾袋內部用鐵籠支持，濾布用扣環夾撐在鐵籠上。

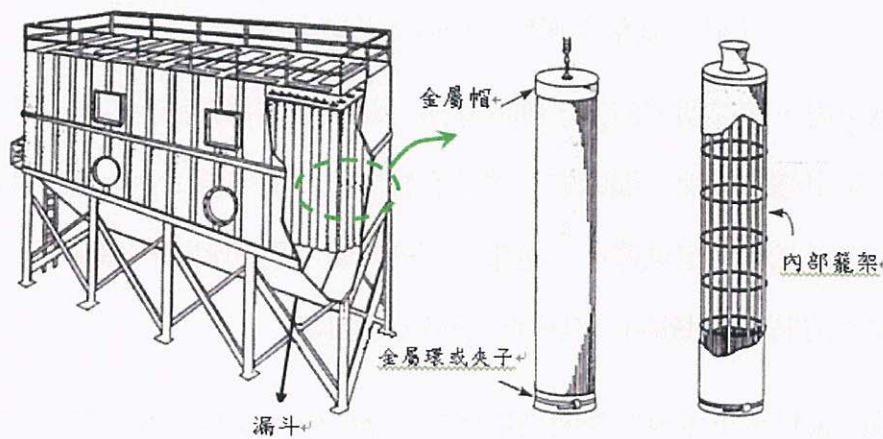


圖 10 濾袋式集塵器

三、濾布材料與濾袋清洗

1、濾布材料

濾袋使用二種濾材：織布型(woven)或毛氈型(felted)兩種。織布型濾材是由細紗編織而成，毛氈型濾材是將不規則的纖維壓縮成濾墊並用較鬆散的編織材料作背襯。織布型的濾材適用於低能量之清洗法，如振盪式或反洗空氣式濾袋屋；毛氈型濾材則適用於高能量清洗方法，如脈衝噴氣式濾袋屋。

織布型濾材的編織方法依設計及實際使用之不同而異。最簡單的編織方法是平織法，即細紗上下交叉編織而成，但此方法已不常使用。其他的編織法尚有斜織法和緞織法圖 11 等。在斜織法裡，同一個方向上，細紗穿過二條細紗之上方再穿過另一條細紗之下方，這種織法較平織法緊密。

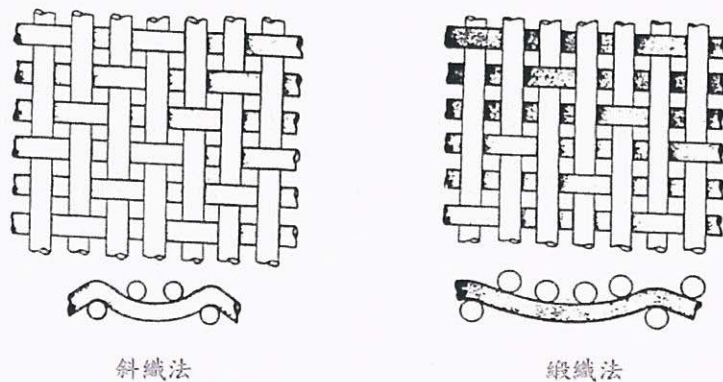


圖11 織布型濾材：斜織法及緞織法

在緞織法裡，在二個方向上，細紗穿過一條之上方再穿過另四條之下方，這種織法很緊，可使用很細的紗線。編織的方式會影響纖維間的空隙大小，進而影響其強度及透氣性。濾布之透氣性決定氣體在一定壓差下的流量。譬如較緊的編織法，透氣性較差，即壓力降較大(在固定流量時)，但可以去除較小的微粒。

織布型的濾材真正過濾的表面是堆積的粉塵餅(filter cake)。濾袋捕捉過濾初期時的微粒，除塵效率較差，當微粒由於衝擊、擴散及截留等機制被捕捉時，織布的空隙便逐漸被填滿，這個過程稱為濾餅過濾。當塵餅產生後，除塵效率變得很高，甚至可達 100%，

這時的壓降增加太多，需要進行洗袋。有效的過濾時間依微粒之濃度而異，從 15-20 分鐘至數小時之久都有可能。

毛氈型濾材是由不規則方向的纖維壓縮在編織背襯上，毛氈與編織背襯之間以化學、加熱樹脂或縫合等法接合。與織布型濾材不同的是，這種毛氈式濾材的每根纖維都是收集粉塵的標的，即使是小微粒在過濾開始時會在濾材表面上被收集圖(十四)，效率即很好，當粉塵餅形成時，濾餅過濾的除塵效率變得更高，接近 100%。毛氈型的濾材較厚，厚度約織布型濾材的 2-3 倍。

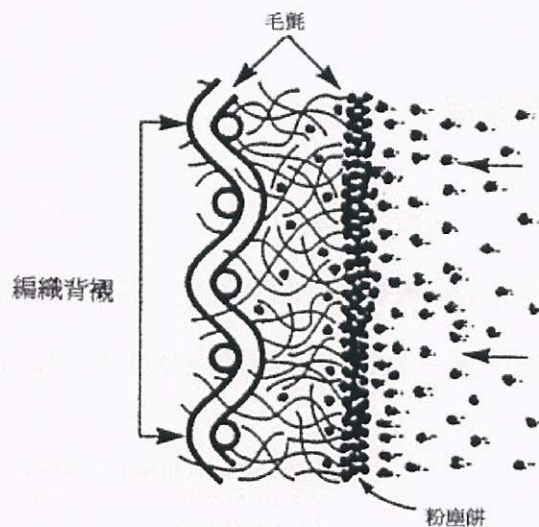


圖 12 毛氈式的濾材

毛氈式濾材通常使用脈衝噴氣式洗袋法，此法在每單位濾布面積上能處理的空氣量較振盪式或反洗式之洗袋法為高。毛氈型濾布不適用於處理含高濕度的廢氣(尤其當微粒是親水性時)，以免濾布阻塞而無法使用。

2、纖維種類

濾布使用之纖維材料依工業應用上之不同而異，分成天然及人造纖維兩種，種類和溫度上限、耐酸鹼性、抗磨性，目前以人造纖維的使用最為普遍。

天然纖維由棉花或羊毛作成，價格低廉，但氣體溫度不能超過 100°C，且耐磨性差。

人造纖維的耐溫性及耐蝕性較天然纖維佳，其中聚脂纖維 (polyester)、諾美克斯(Nomex, aromatic polyamide)、桑通(Ryton, polyphenylene sulfide)、P-84 (polyimide)等常被採用，具良好的耐溫性及耐磨性，人造纖維以聚脂纖維的價格最低。鐵弗龍 (Teflon)及玻璃纖維 (Fiberglass)之耐溫性可高達 260°C，且耐酸性高，但價格昂貴。

濾袋式集塵器的濾袋一般可維持 2~3 年，如果一區域的濾袋破損超過 10%，即更換該區域濾袋，如果少量的濾袋破損，則可暫時先關閉各別濾袋的蓋子；PES 為最便宜的材料，但是在耐高溫以及抗酸、抗水解的能力較弱。

肆、實習內容

一、袋式集塵器工作原理

林口更新擴建計畫所採用的袋式集塵器（位置如圖 13 所示、結構如圖 14 所示），如同靜電集塵器(ESP)，安裝於空氣預熱器(APH)下游，其作用係用來補集煙氣中的粉塵粒子，避免直接將粉塵排放於大氣，對環境造成汙染及危害人體健康。

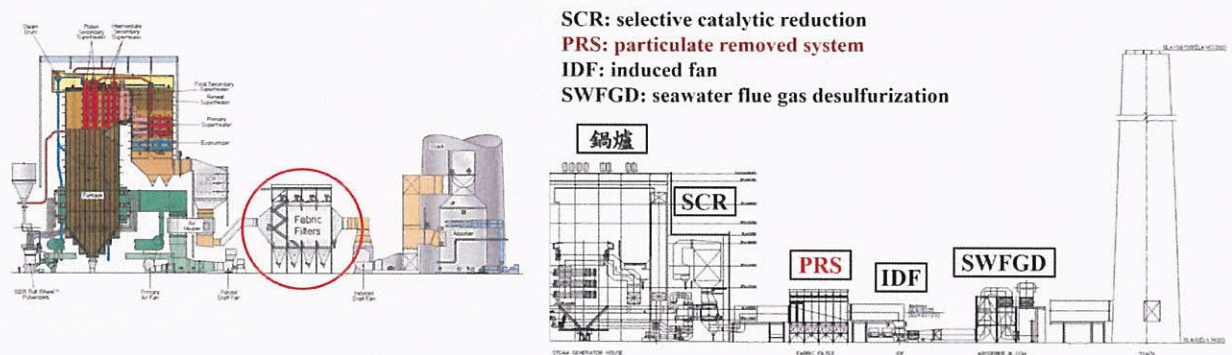


圖 13 袋式集塵器安裝位置示意圖



圖 15 濾袋纖維不規則方向堆疊

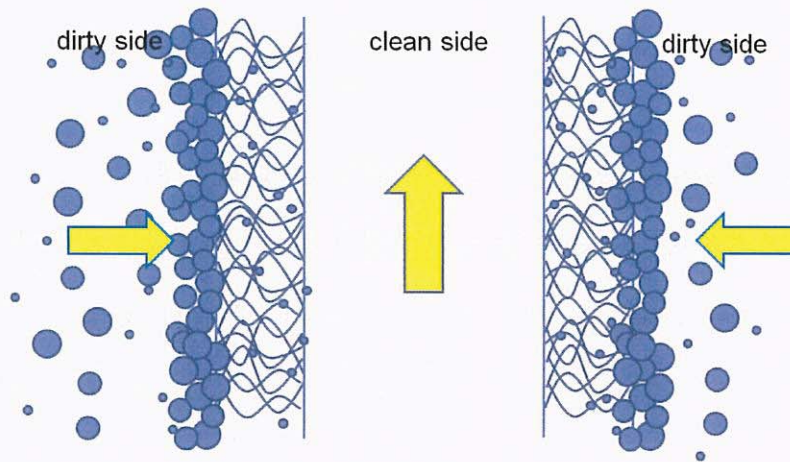


圖 16 濾袋補集微粒之方式



圖 17 利用脈衝空氣清潔濾袋

二、袋式集塵器設備介紹

林口更新改建計畫所採用之袋式集塵器，其相關設計參數及內部主要構件整理如下表 2：

表 2 袋式集塵器相關設計參數

項目	設計值
粉塵排放目標	10 mg/Nm ³ 以下
入口設計粉塵濃度	13,100 mg/Nm ³
入口設計煙氣溫度	131°C
入口最大煙氣量	2,659,200 Nm ³ /h
尺寸 (L x W x H)	25 m x 39 m x 27 m
分室數目	16
每一分室之濾袋數目	960
濾袋長度	10 m
濾袋總數	15,360
總過濾面積	63,417 m ²
每一分室之噴嘴管路	32排
每排噴嘴管路之噴嘴數	30
每排噴嘴管路之脈衝閥數	30
脈衝空氣控制系統 (EFFIC)	8
入口風門數	32
入口風門型式	百葉窗式 (Louver Type)
出口風門數	32
出口風門型式	提升閥式 (Poppet Type)
旁通風門數	28
旁通風門型式	提升閥式 (Poppet Type)
灰斗數	16

煙氣進入袋式集塵器前，會分為 2 路徑(Line1 及 Line2)進入各分區之袋式集塵器，1 座鍋爐配有 2 區袋式集塵器，每 1 區再分為 8 個分室 (Compartment)，8 個分室的排列為左右各 4 個分室 (圖 18)。

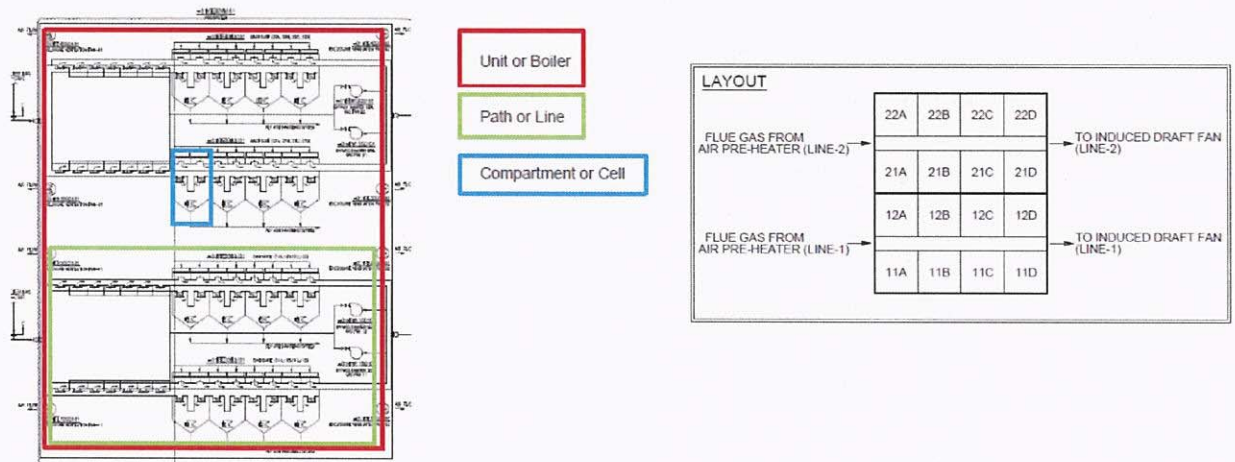


圖 18 袋式集塵器配置圖

每 1 區的袋式集塵器進出口風道位於該區中央 (圖 19)，髒煙氣側 (Dirty Side) 與乾淨煙氣側 (Clean Side) 中間則以傾斜之分隔牆隔開 (圖 20)，分隔牆下方為髒煙氣側，上方為乾淨煙氣側。髒煙氣進入袋式集塵器後，經由下方之入口風門導引至 2 側分室內之濾袋，濾袋上方裝有可供安裝濾袋及維護人員行走之濾袋板 (圖 21)，濾袋盤上方針對每 1 個濾袋設有相對應之噴嘴，可對濾袋進行清潔。髒煙氣經過濾袋過濾後，由濾袋區最上方之出口風門重新導引至中央乾淨煙氣側之風道，再經由出口風道排出。高壓脈衝空氣所吹落之飛灰則經由底下之灰斗及飛灰傳送系統輸送入灰倉。

袋式集塵器系統內之中央分隔牆 GE 公司之特別設計，此設計可幫助煙氣均勻分佈至每一個分室當中，而不至於讓煙氣因慣性及 IDF 作用，集中往袋式集塵器後方流動，造成煙氣流動不均之現象，GE 此設計也利用 Computational Fluid Dynamic (CFD) 軟體事先進行流場最佳化分析 (圖 22)。

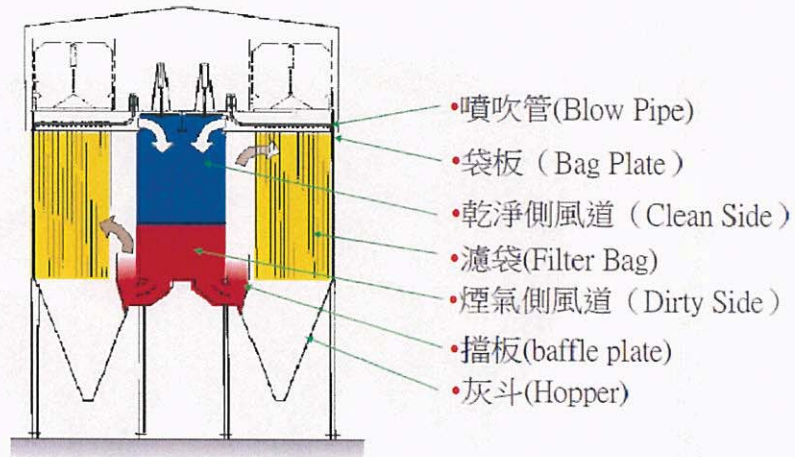


圖 19 袋式集塵器剖面圖

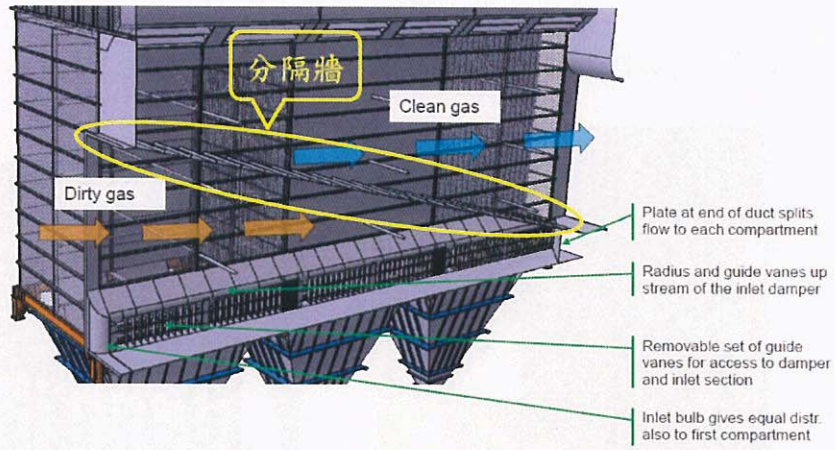
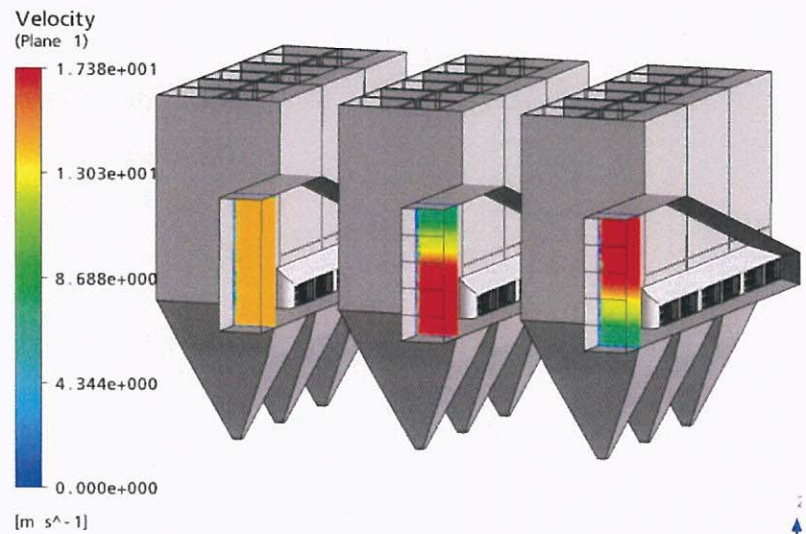


圖 20 中央分隔牆示意圖



圖 21 濾袋板



Inlet Arrangement

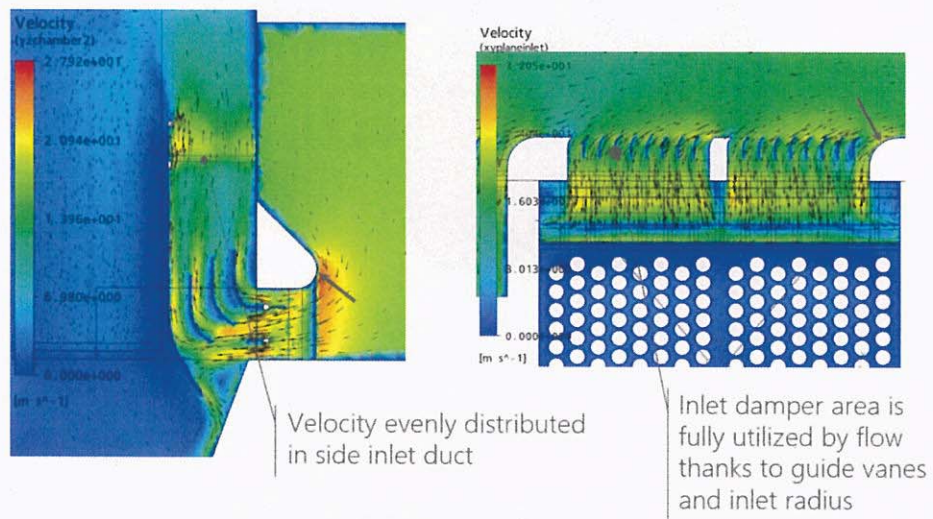


圖 22 流場分佈

以下將針對袋式集塵器主要構件進行介紹：

(一) 外殼：

尺寸大約長 25 m、寬 39 m、高 27 m，內部共有 2 區，各區 8 個分室，各區有所屬的進、出口風道。外殼與進出口風道的材質為 A242 碳鋼。外殼功用主要係作為內部與外部隔離之用，避免空氣洩漏。

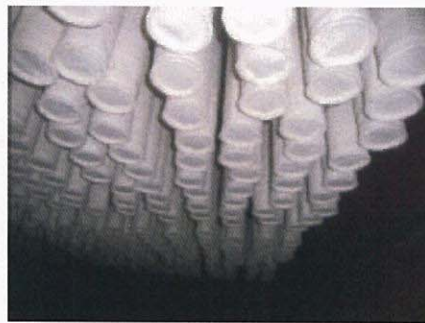
(二) 灰斗：

每個分室底下設置有 1 個灰斗，共 16 個灰斗，旨在收集脈衝空氣清潔過程所掉落下

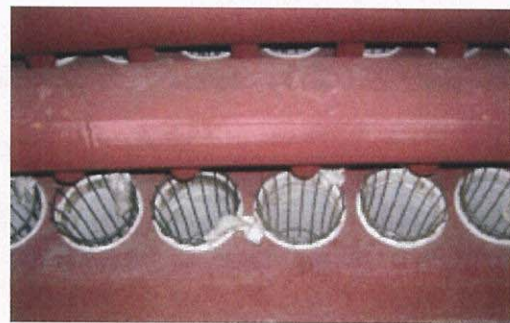
來的飛灰。在最大煙氣流量的操作運轉下，灰斗可儲存 12 小時排灰量。然而，此功用僅係作為緊急使用，儲存飛灰非灰斗的主要功能。另外，每個灰斗裝有電子加熱器、振動器以避免飛灰硬化與架橋。

(三) 濾袋及袋籠 (Cage) :

濾袋的材料是聚苯硫醚 (PPS)，表面有聚四氟乙烯 (PTFE) 塗層，濾袋每平方公尺重 550 克，直徑 130 mm、長約 10 m，耐熱溫度 190 °C。濾袋最上方有金屬彈片 (材質為 SUS 631) 縫入其中，藉此與濾袋盤 (Bag Plate) 固定並保持密封，目的為避免髒煙氣 (Dirty Side) 流入乾淨煙氣側 (Clean Side)，影響除塵效率。濾袋內部則裝有袋籠 (Cage) 支撐濾袋，可在過濾及噴氣清潔時保持濾袋形狀(圖 23)，並可避免濾袋隨煙氣流晃動，與鄰近濾袋發生碰撞。袋式集塵器每一個分室裝設有 960 個濾袋，16 個分室則共裝有 15,360 個濾袋。



Bottom of filter bags



Top of filter bags in tubesheet
Nozzle pipe above bags

圖 23 濾袋安裝完成照片

(四) 風門 :

每個分室配置有 2 個百葉窗式 (Louver) 的進口風門(圖 24)、2 個單片式 (Single Blade) 出口風門(圖 25)，因此 16 個分室進、出口風門分別各有 36 個；中央煙氣通道則設有 28 個雙片式 (Double Blade) 旁通風門(圖 26)，風門均為氣動操作。風門作用為控制煙氣流向，一般狀況下，煙氣經由各別路徑 (Dirty Side) 進入袋式集塵器，藉由進口風門導引至濾袋再由出口風門重新進入中央煙道乾淨側 (Clean Side) 排出，一旦發生緊急狀況如煙氣溫度太高 (溫度設定為 165 °C) 等情形時，進、出口風門關閉，旁通風門開啟，

煙氣直接旁通以保護濾袋。

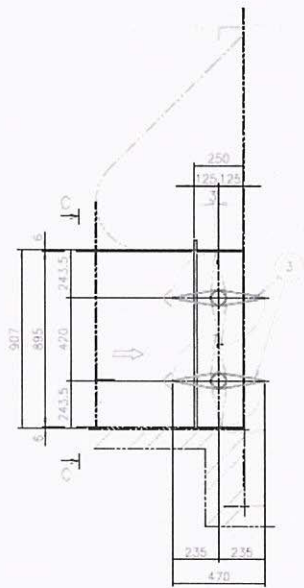


圖 24 進口風門型式

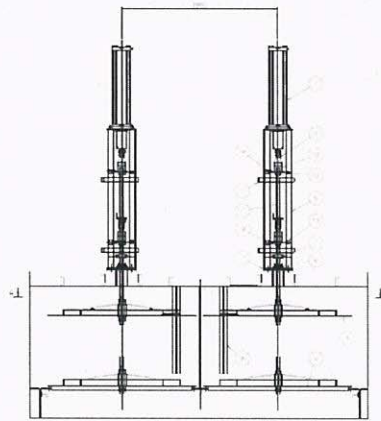


圖 25 出口風門型式

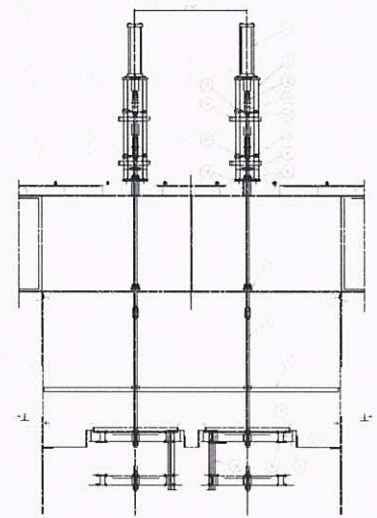


圖 26 旁通風門型式

(五) 脈衝空氣清潔系統：

脈衝空氣清潔系統包括高壓空氣儲存槽 (Pressure Tank)、脈衝閥 (Pulse Valve)、噴嘴管路 (Nozzle Pipe) 及噴嘴 (Nozzle)。每個分室有 2 個高壓空氣儲存槽，每個儲槽有 16 脈衝閥，每個脈衝閥配有 1 排噴嘴管路，每排噴嘴管路設有 30 個噴嘴 (如圖 27)。

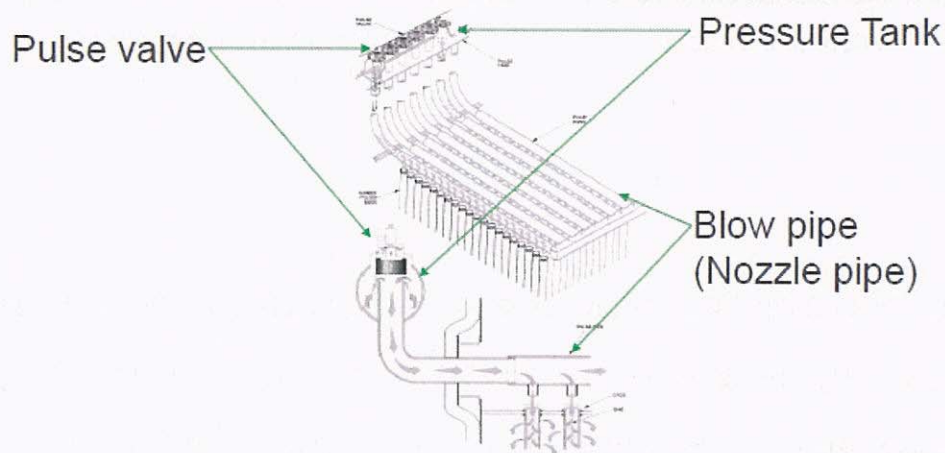


圖 27 脈衝空氣清潔系統

高壓空氣經由脈衝閥釋放，流經噴嘴管路後，透過噴嘴向下噴出，向下噴出之高壓脈衝空氣可將濾袋瞬間撐開，抖落濾袋表面所累積粉塵餅。

脈衝閥為此系統之重要元件，其結構及運轉方式如圖 28 及圖 29 所示。高壓空氣的釋放主要是靠脈衝閥來控制，其上方有電磁閥，當電磁閥打開時，膜片（圖 28 紅色處）上方空氣排出，膜片下方空氣由於此時壓力較大，將膜片上推，空氣透過膜片上移後所產生之空隙洩漏出去。此時高壓空氣儲槽內之空氣將活塞（圖 29 綠色處）上推，並透過噴嘴往下噴出以清潔濾袋。另有專責管理脈衝動作順序及時機的模組化脈衝控制系統（Modulated Pulse Cleaning），稱為 EFFIC（Electronic Fabric Filters Integrated Controller，如圖 30 所示），每組 EFFIC 可以管理 2 個分室共 64 個脈衝閥，故每 1 部袋式集塵器設有 8 組 EFFIC 控制系統。

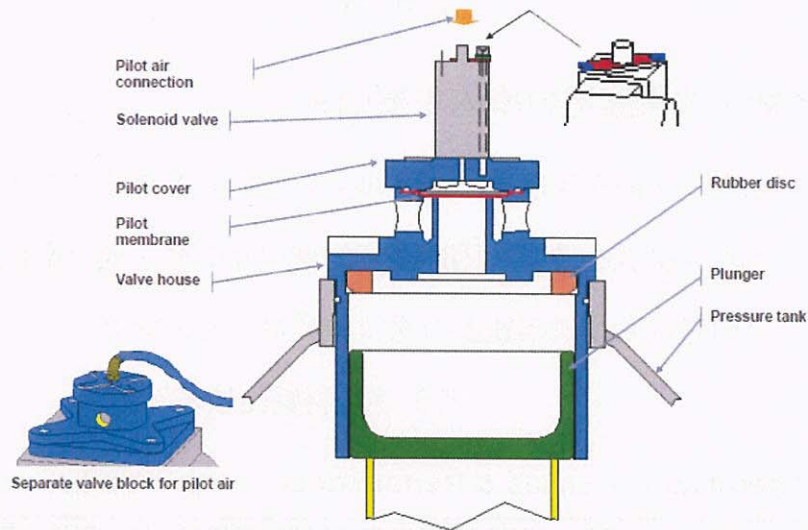


圖 28 脈衝閥結構圖

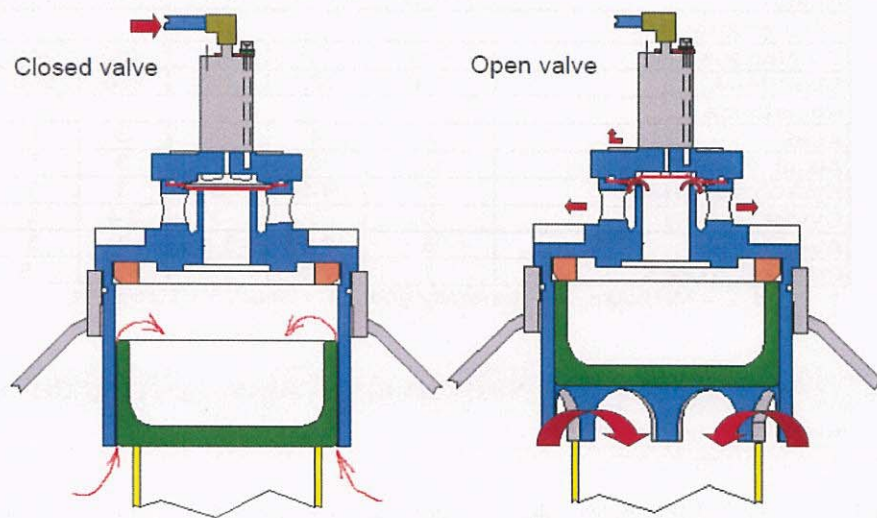


圖 29 脈衝閥開關示意圖



圖 30 EFFIC 控制系統

三、影響袋式集塵器效率的主要因素

袋式集塵器不像靜電集塵器，易受煤值變動而影響集塵效率，它是透過濾袋的過濾特性來達到低環保排放的要求，因此濾袋的選用及壽命，成為影響袋式集塵器效率的最主要因素，目前應用於袋式集塵器的濾袋材質如下表 3 所示：

表 3 濾袋材質比較表

Operating Principles & Performance - Filter Media ALSTOM

Material	PES	PAC	PPS	PI	PTFE	GLS
Polymer (Common Trade Name)	Polyester	Dolanit Ricem	Ryton Procon Torcon	P84	Teflon	Fibreglass
Temperature °C						
Continuous	135	125	190	200	240	240
Short Peak	150	130	200	260	260	280
Resistance						
Acid	3	4	4	3	5	4
Alkali	2	3	4	3	5	3
Hydrolysis (H2O)	2	4-5	5	3	5	5
Oxidation (O2)	5	3	3	3-4	5	5
Abrasion	5	3-4	3-4	4	3	1
Price rel. to PES	1	1.5	3.5	6.5	15	2.5
1 = Bad, 2 = Mediocre, 3 = Generally good, 4 = Good, 5 = Excellent						

Choice depends on application specific data

Alstom FF – Product Presentation - P 19
©ALSTOM 2011. All rights reserved. Information contained in this document is indicative only. No representation or warranty is given or should be relied on that it is complete or correct or will apply to any particular project. This will depend on the technical and commercial circumstances. It is provided without liability and is subject to change without notice. Appropriation, use or disclosure in third parties, without express written authority, is strictly prohibited.

由上表可看出 PPS 耐酸、鹼、水解作用的表現僅次於 PTFE，且 PPS 價格僅為 PTFE 的一半不到，相當具有經濟效益，而電廠袋式集塵器的操作溫度約為 130 °C，PPS 可在

190 °C 的溫度下維持其特性，仍留有相當之運轉餘裕，因此成為目前最為廣泛應用之濾袋材質。GE 公司也基於以上理由選用 PPS 作為林口更新擴建計畫之濾袋材質。

在運轉及維護過程中，影響濾袋壽命的因素摘述如下：

(一)侵蝕：

1. 煙氣中的飛灰，伴隨煙氣流經袋子的過程中，會對濾袋進行侵蝕作用。
2. 使用高壓脈衝空氣的次數過多，造成濾袋與袋籠表面摩擦以及高壓空氣對濾袋沖刷侵蝕。
3. 運轉中之實際煙氣量超過設計值，造成濾袋負荷太大，加速侵蝕效應。

(二)堵塞：

1. 鍋爐使用輕油點火時所產生的油霧，容易附著於濾袋表面造成堵塞。
2. 微細顆粒容易進入濾袋纖維內部，累積過多即會造成堵塞。
3. 濾袋表面遇到水蒸汽或相對濕度太高，會造成塵餅結塊，結塊後將不易清除造成堵塞。

(三)酸蝕：如操作溫度低於酸露點溫度，易有腐蝕現象。

(四)高溫：濾袋可耐受溫度為 190 °C，如溫度過高會對濾袋產生破壞。

(五)氧化：氧氣含量過高易造成濾袋氧化、脆化，減少濾袋壽命。

(六)濾袋不正確安裝：袋籠變形、濾袋尺寸不正確、安裝袋籠時劃傷濾袋等，均會造成濾袋破損或減短壽命。

四、濾袋預塗處理及線上塗裝介紹

(一)預塗處理 (Pre-coating)：

袋式集塵器在初次使用時，對濾袋進行的保護動作，稱為預塗處理 (Pre-coating)，即在袋式集塵器安裝好而尚未使用時，利用鼓風機讓特定的物質附著在濾袋表面，形成一個保護層後，才正式使用袋式集塵器，此保護層 Alstom 建議使用熟石灰 (氫氧化鈣)，當預塗處理的動作完成後，機組運轉產生的飛灰及黏性物質就不會直接接觸到濾袋表面，而會附著在熟石灰上面，因此減少濾袋受飛灰腐蝕的可能。茲將其相關資訊摘述如

下：

1. 目的：初次啟動袋式集塵器前，必須於事前塗裝所有濾袋，提供初期所需之濾餅以保護濾袋，可延長濾袋壽命，同時濾餅可增加過濾效果。
2. 材料：熟石灰（氫氧化鈣）
3. 顆粒大小：通過 200 網目（Mesh）篩濾器的數量不能大於 50 %。
4. EFFIC 脈衝空氣控制系統：壓差模式（壓差達 1.6 kPa 進行功壓空氣脈衝）。
5. 方式：
 - (1) 確認各分室進、出口風門已打開、旁通風門關閉、IDF 已開啟。
 - (2) 應使用設有鼓風機的卸料卡車，將預塗材料透過入口風道之噴注孔（如圖 31，預塗處理及線上塗裝有各自之注入孔），以慢速（每 15 分鐘 1 噸）將熟石灰顆粒注入於系統內。
 - (3) 熟石灰注入總量約需 18.7 噸。
 - (4) 最後由經驗豐富的技术人員（如 GE 公司）檢查預塗處理是否合格。

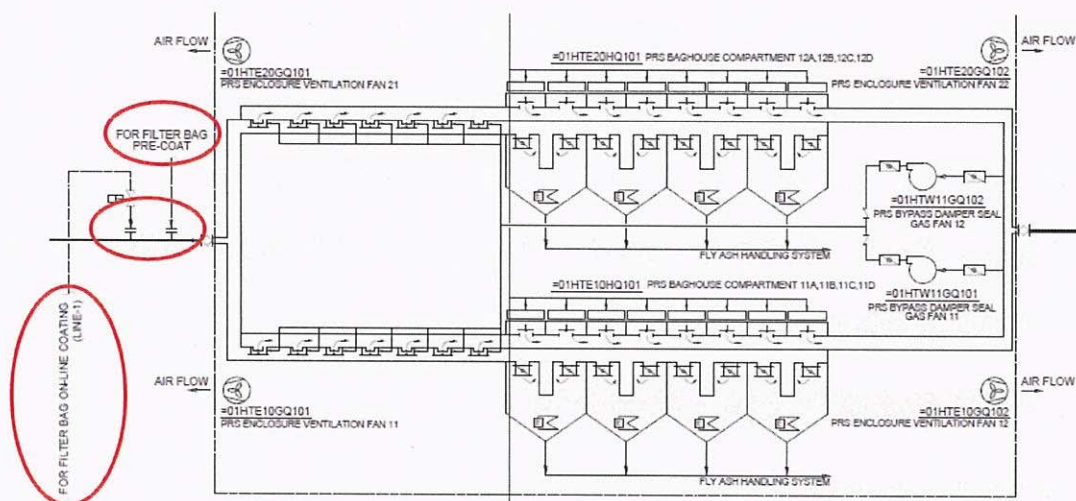


圖 31 注入孔位置圖

(二) 線上塗裝 (On-line Coating)：

線上塗裝 (On-line Coating) 為林口新機組的另一項特色，此功能需搭配飛灰注入系統 (Ash Injection System) 來達成，線上塗裝使用的時機為機組點火時，由飛灰注入系統將預存於此系統內的飛灰注入袋式集塵器入口，使其與點火時因輕油燃燒產生的少量油灰混合，以減少油灰沾附在濾袋上的機會，從而延長濾袋的使用壽命。茲將其相關資訊

摘述如下：

1. 目的：避免鍋爐啟動燃油期間，黏稠物質（如油霧、焦油、碳氫化合物等）附著於濾袋表面，以及於低氣體溫度情況下防止酸化物質（如硫酸霧氣）之侵蝕。
2. 材料：飛灰（也可使用熟石灰）
3. 顆粒大小：通過 200 網目（Mesh）篩孔的數量不能大於 50 %。
4. EFFIC 脈衝空氣控制系統：壓差模式（壓差達 1.6 kPa 進行功壓空氣脈衝）。
5. 方式：
 - (1) 鍋爐啟動前檢查飛灰中繼倉所需的飛灰是否至少 200 m³。
 - (2) 袋式集塵器於鍋爐啟動時，僅有 A 分室開啟（位置如圖 32 所示），其餘各分室關閉。
 - (3) 飛灰透過袋式集塵器入口風道之注入孔進入，再輪流由閥 V-3、V-4（位置如圖 32 所示）進入（V-3 開啟時 V-4 關閉） A 分室，每次注入 6 m³ 飛灰，2 閥輪流注入飛灰各 5 次，總計 10 次。後續在低負載的情形下（滿載的 25 % 以下），如 A 分室壓差達 1.4 kPa 將再進行 1 次線上塗裝。
 - (4) 當負載持續上升至滿載的 25 %，B 分室會開啟，此時如仍持續燃油將再進行 1 次線上塗裝工作。

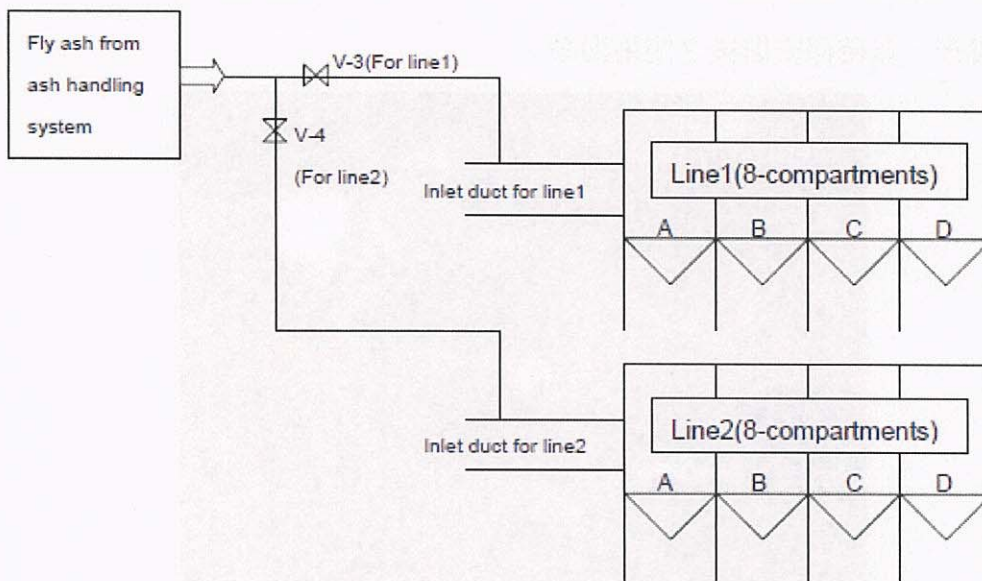


圖 32 線上塗裝示意圖

五、袋式集塵器破袋之因應措施

袋式集塵器在各分室上方裝有感測器，可偵測出壓降與粉塵濃度的變化情形。如相較正常運轉數值，發現壓降下降、粉塵濃度上升之現象在某分室或區域持續發生，則可推估濾袋有破漏的情況發生。一旦濾袋發生破漏，首先應對該分室予以隔離（在鍋爐滿載運轉的情況下，可允許 1 個分室進行隔離，仍可保證粉塵排放濃度不超限，如超過 1 個分室需要隔離，則鍋爐必須降載運轉。），待內部冷卻後由屋頂（Penthouse）進入該分室上方進行檢查。

當破袋初期粉塵微粒尚未大範圍擴散，可利用目測觀察濾袋內側、濾袋盤表面及噴嘴口是否有粉塵堆積，藉此判斷破袋位置。如破損的袋子數量不足以影響除塵效率，可以不停機情況下分區檢修，俟大量換袋之時機（如大修停機），再予以更換。

如經評估需進行立即更換濾袋，則須先拆除噴嘴管路（如圖 33）接著抽出袋籠（如圖 34），由於濾袋及袋籠全長約 10 m，濾袋盤至屋頂最高僅有約 8 m 的高度，因此袋籠設計為可拆解為 3 段的型式，在抽離的過程中可一邊拆解，並檢查袋籠是否變型或損壞而造成濾袋破裂，下一步再將濾袋抽出（如圖 35），安裝新濾袋時則以相反步驟更換濾袋。

新濾袋安裝過程中，必須注意濾袋上方彈片是否與濾袋盤準確接合，以避免機組運轉時，煙氣由髒空氣側洩漏至乾淨空氣側。另外，安裝袋籠要避免劃傷濾袋以及不當安裝使袋籠變形，以確保安裝後之使用壽命。



圖 33 噴嘴歧管拆除



圖 34 取出濾袋袋籠



圖 35 取出濾袋

六、工廠參訪與實習

這次日本受訓除到了鋼鐵精密加工廠、林口 PRS 系統濾袋製造商了解相關設備至早及檢驗流程外，也參訪了北海道電力砂川及奈井江發電廠，並互相進行簡報介紹等交流。

(一) 參訪梶原鐵工廠

首先介紹的是位於姬路附近的鋼鐵精密加工場(圖 36)，該公司本主要致力於傳統鋼鐵加工及相關氣閥門壓力設備等產品製造(圖 38)，後來跨足精密加工領域(圖 39)，圖 37

為與現場工程師合照。



圖 36 梶原鐵工廠



圖 37 與現場工程師合照

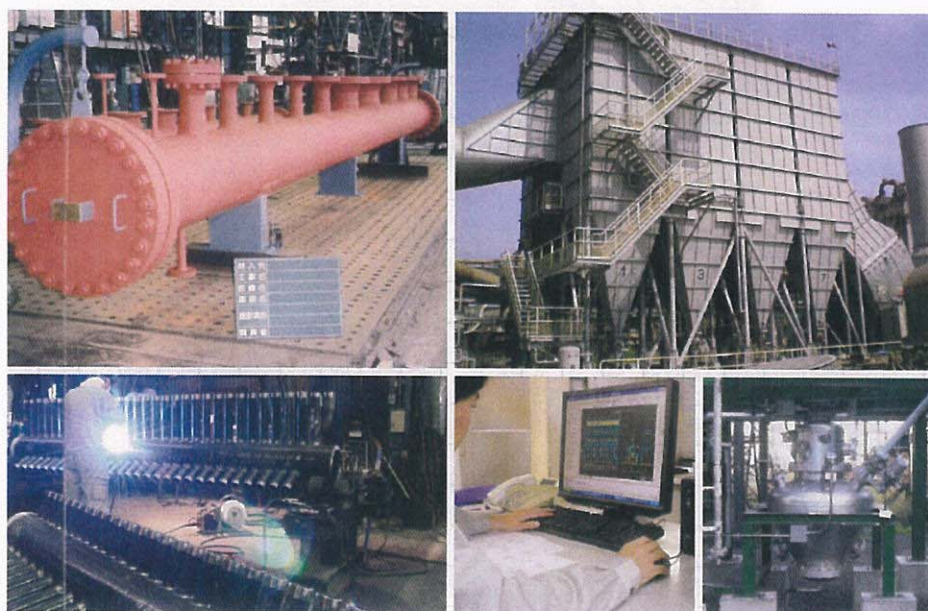



圖 38 鋼鐵加工及相關氣閥門壓力設備等產品製造




圖 39 精密加工設備


(一) 參訪泉株式會社

另外也拜訪了林口及大林電廠 PRS 濾袋的製造商-泉株式會社(圖 40)與相關人員(圖 41)，圖 42 為廠家包裝完成之大林電廠所用之濾袋。

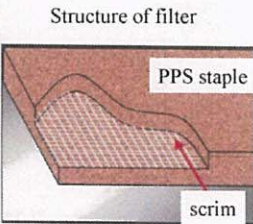

IZUMI-COSMO COMPANY, LIMITED



Fuji Corporation
Needle Felt manufacturer



Needle-punching(at work)



Structure of filter
PPS staple
scrim

圖 40 泉株式會社



圖 41 與現場工程師討論交流

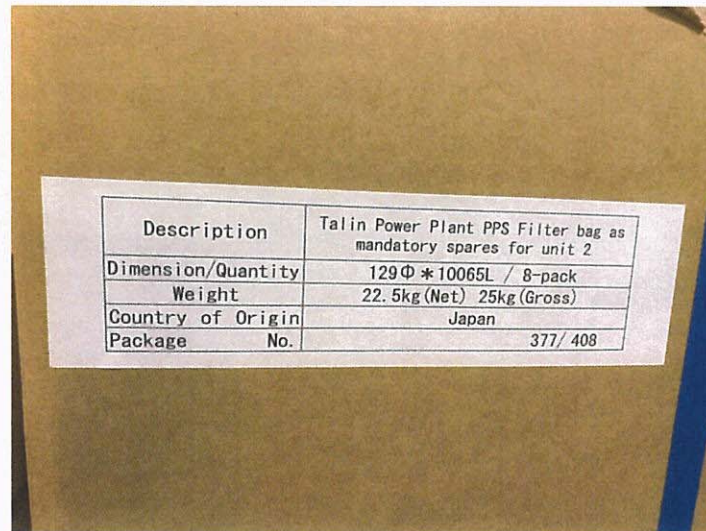


圖 42 廠家包裝完成之大林電廠所用之濾袋

影響 PRS 濾袋強度主要有原料純度和製造方式，圖 43 為廠家提供有關原料純度比較圖，大林與林口電廠所用之樹指為 Toray Fiber Grade(For Regular)，原料純度高達 99.48%，故相較於其他廠家在攝氏 200 度時強度下降較緩慢，如圖 44。

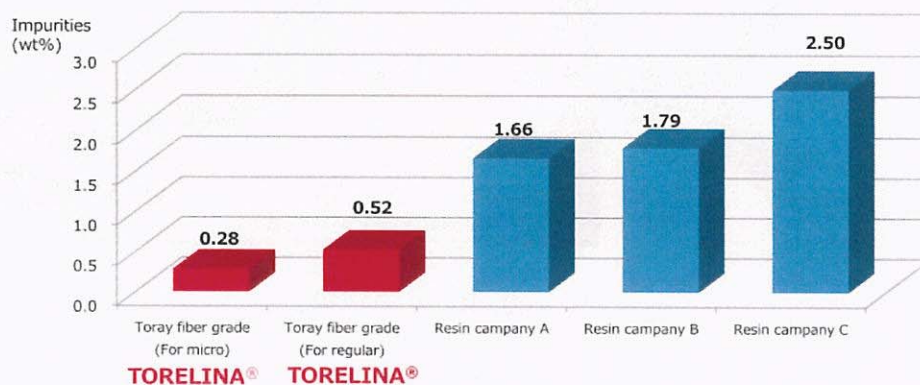


圖 43 廠家提供相關原料



TORCON® fibers by High Quality Resin

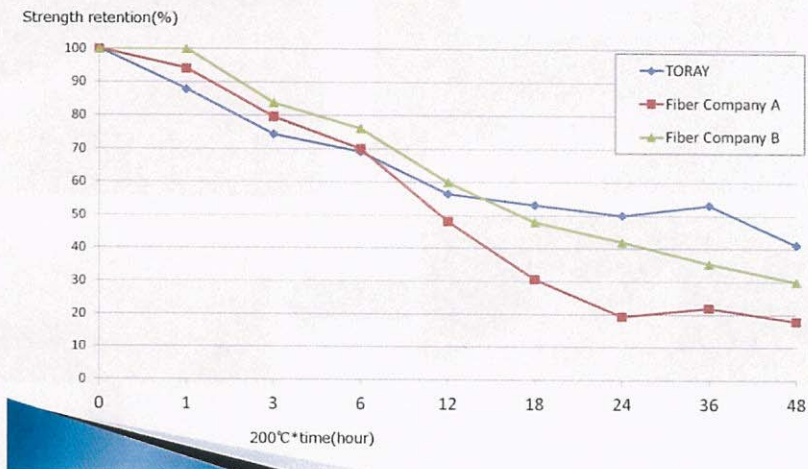


圖 44 濾袋材料與承受 200 度高溫時之強度折線圖

濾袋的品質除材料的選用外，製造過程也是不可忽略的一環，以下就相關流程作介紹，首先由樹指原材經成線再由網格編織法後層壓成布，接著將袋籠(cage)置入濾袋內以提供額外的強度和穩定性如圖 45。

Carrying out sealing part inspection
Every single peace



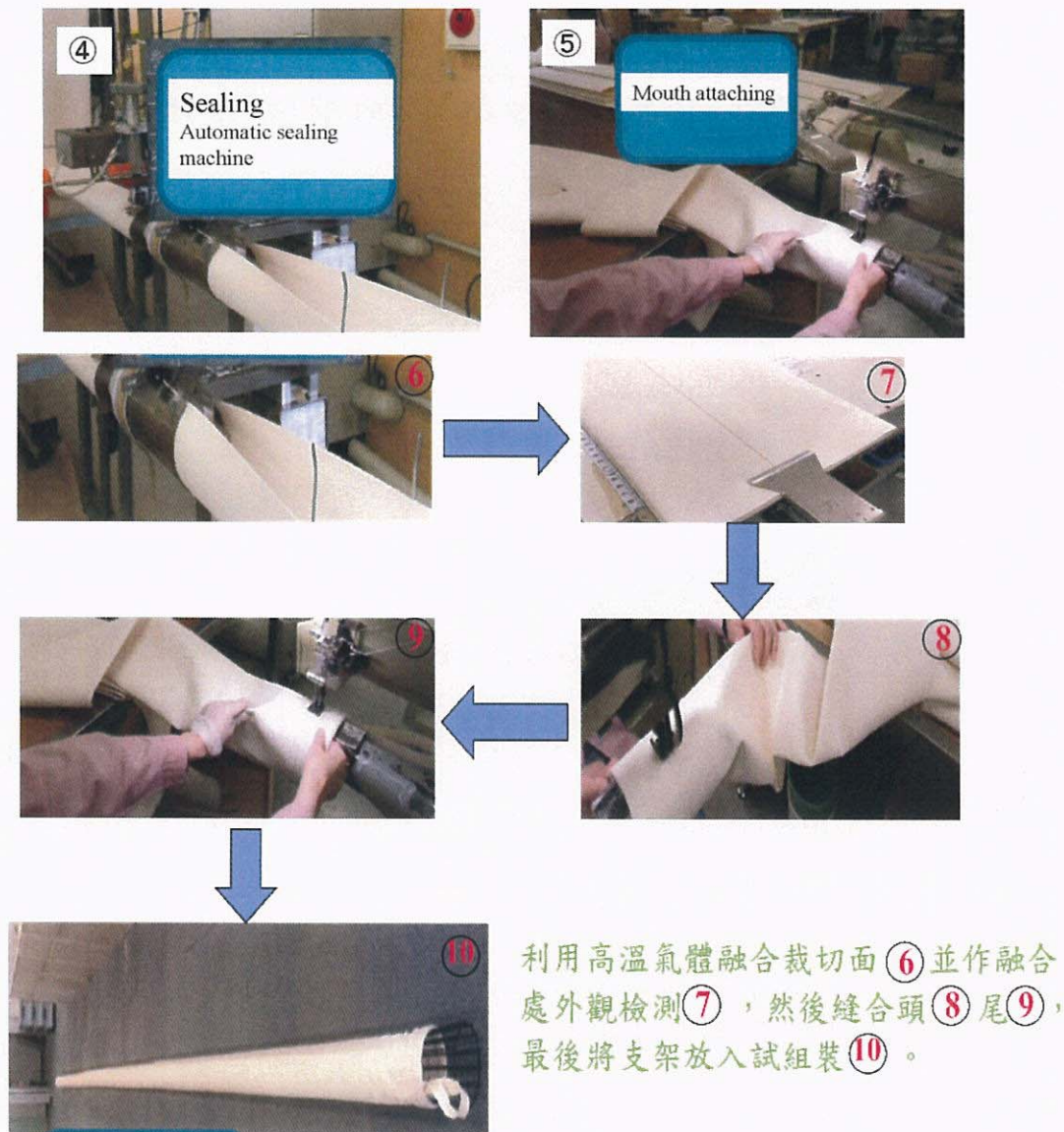


圖 45 濾袋與袋籠組裝流程

製造成品後，廠家特別強調不採用抽驗的方式，每一片成品都經過 QA 步驟，以保證品質，檢驗主要包含外觀檢驗、尺寸量測和裝配檢查，皆通過後即打包裝箱出貨，如下圖九，此外如濾袋發生洩漏或其他問題，廠商也說明拿到樣本後會有專門實驗室進行分析，找出原因來避免再次發生(圖 46)為濾袋使用後及一些發生洩漏破損照片。



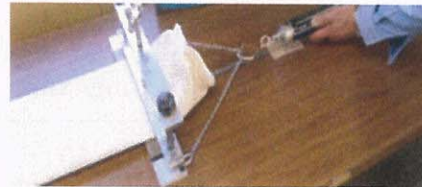
外觀檢驗



裝配檢查



尺寸量測(直徑)



尺寸量測(長度)

圖 46 濾袋外觀檢驗

此次海外受訓亦參訪北海道電力公司旗下 AQCS 使用 PRS 系統之奈井江與砂川燃煤火力發電廠，該兩家電廠特色都是少數使用日本國內煤且無 FGD 設備的燃煤火力發電廠，如圖 47 北海道電力公司旗下火力發電廠簡介，井江與砂川燃煤火力發電廠相關背景資料整理如表 4。

表 4 北海道現場參觀之電廠相關資料

公司	北海道電力公司			
名稱	砂川電廠		奈井江電廠	
機組別	3 號機	4 號機	1 號機	2 號機
上機時間 (西元)	1977.06	1982.05	1968.05	1970.02
更換為袋式集塵器 的時間 (西元)	2005.06	2006.09	2010.12	2010.02
裝置容量或蒸氣量	12.5 萬瓩	12.5 萬瓩	17.5 萬瓩	17.5 萬瓩

煙氣量	489,000 Nm ³ /hr	460,000 Nm ³ /hr	743,000 Nm ³ /hr	752,000 Nm ³ /hr
入口設計 煙氣溫度	140°C	140°C	140°C	140°C
入口設計 粉塵濃度	60,000 mg/Nm ³	60,000 mg/Nm ³	47,000 mg/Nm ³	44,100 mg/Nm ³
出口設計 粉塵濃度	50 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³
粉塵法規排放限制 值	400 mg/Nm ³		50 mg/Nm ³	
濾袋使用 數量	4,636	4,636	5,040	4,879
濾袋備品 數量	50	50	60	60
A/C 比 ¹ (m/min)	0.84	0.81	1.05	1.1
濾袋更換 週期 (年)	4	4	2	2

註 1：A/C 比又稱為氣布比，為 air-to-cloth ratio 的縮寫。意義為流入袋式集塵器煙氣的體積流率 (m³/min)，除以濾袋總表面積 (單位 m²) 的比值，其單位為 m/min，故又稱為表面過濾速度。此比值可初步判定煙氣量與濾袋表面積之間的關係，但並無考慮濾袋式集塵器入口的粉塵濃度。

關於 2 座電廠 (砂川、奈井江電廠)，其特點大略如下：這 2 座電廠使用已久，燃用的是北海道當地的褐煤，且此兩間電廠皆非一開始使用濾袋式集塵系統，而是使用靜電集塵系統到一定年限後，將靜電集塵器改為袋式集塵器，同時為了節省改建費用，要求新的環保設備必須要能夠容納在舊的靜電集塵系統內 (圖 48)，並能盡可能的使用原來的鍋爐通風設備，所以在濾袋系統完成後煙囪並無明顯排煙情形 (圖 49 砂川電廠)，2 座電

廠皆無需更換引風機而能在較以往為高的壓力損失下運轉，圖 50 為砂川及奈井江電廠發電流程圖。

到達電廠後，奈井江及砂川發電廠先行介紹該電廠(圖 51)，再由發電處林邦俊博士(圖 52)向參訪電廠簡報介紹台電公司概況和未來展望進行雙方技術交流，燃煤電廠在台灣通常承擔機載電力的工作，但因為該電廠使用國內煤加上未安裝 FGD 系統，故運轉高峯在冬季其他電廠大修時，擔任救火員之工作(如圖 53 所示)。

- 砂川(国内炭) 25万KW**
- 奈井江(国内炭)35万KW**
- 苫東(海外炭)165万KW**
- 伊達(石油) 70万KW**
- 知内(石油) 70万KW**
- 苫小牧(石油) 25万KW**
- 泊(原子力) 207万KW**



圖 47 北海道電力公司旗下火力發電廠



圖 48 ESP 改裝成 PRS 沿用靜電集塵器外殼

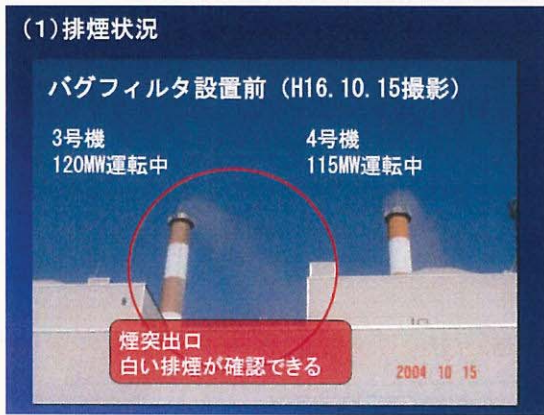


圖 49 砂川電廠煙囪排煙情形

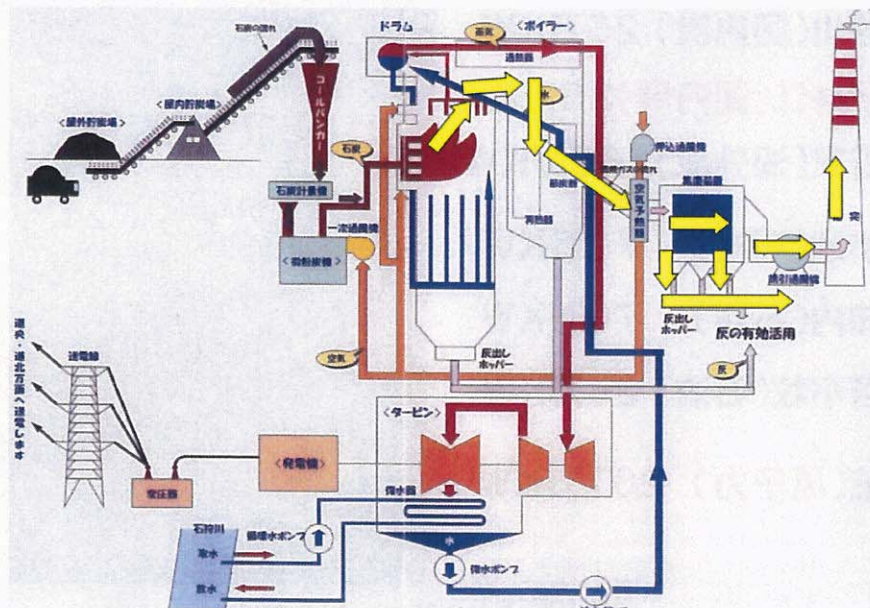


圖 50 砂川及奈井江電廠發電流程



圖 51 奈井江及砂川發電廠人員簡報



圖 52 發電處報告台電營運情形

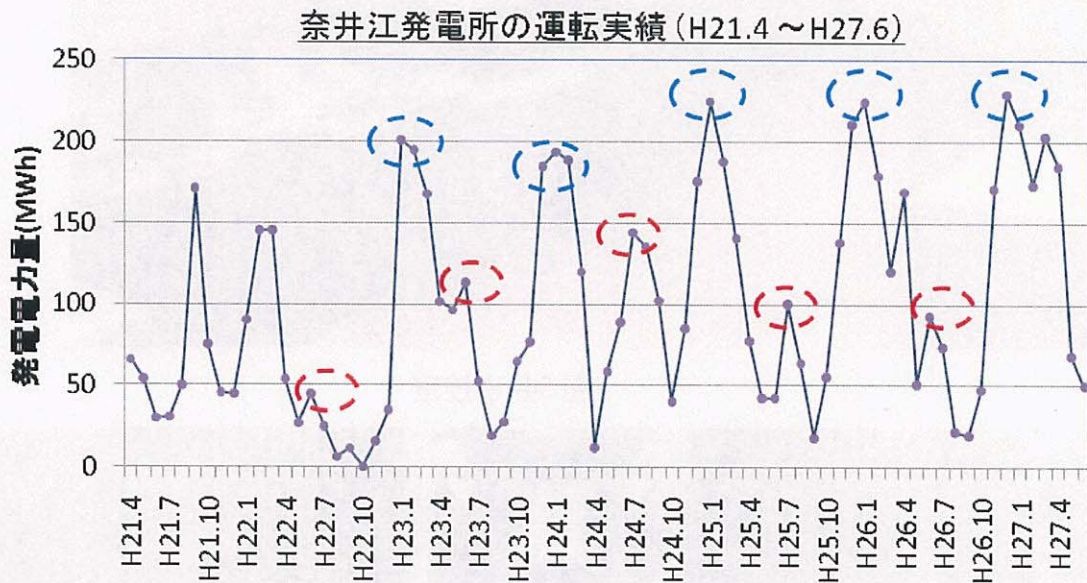


圖 53 運轉時數與發電量

雙方簡報結束後到現場參觀 PRS 相關設備，先到中控室介紹相關設備(圖 54)，再由鍋爐房進入，路線由粉煤機到鍋爐本體在到後端 PRS 設備(圖 55)，最後再到鍋爐房頂端俯瞰整座電廠(圖 56)，更清楚相關設備位置之佈置。

奈井江及砂川發電廠 PRS 系統與林口、大林發電廠最大不同之處在於頂端有開一觀測窗如圖 57，當洩漏發生時，可以簡單且清楚的觀測到洩漏位置(圖 58)，方便及時維修。

PRS 系統另一特色為使用調變式脈衝清潔裝置，利用尖銳、快速的脈衝波從內部洗掉粉塵避免粉塵再沉積如圖 59，該系統視濾袋積灰狀況利用控制壓力槽體積、脈衝閥打開時間和槽內末端壓力來達到清潔效果為脈衝閥機組(圖 60)。



圖 54 中控室



圖 55 PRS 設備



圖 56 鍋爐房頂端俯瞰整座電廠



圖 57 PRS 探視窗



圖 58 PRS 探視窗內觀測洩漏位置
OPTIPOW脈衝清潔系統

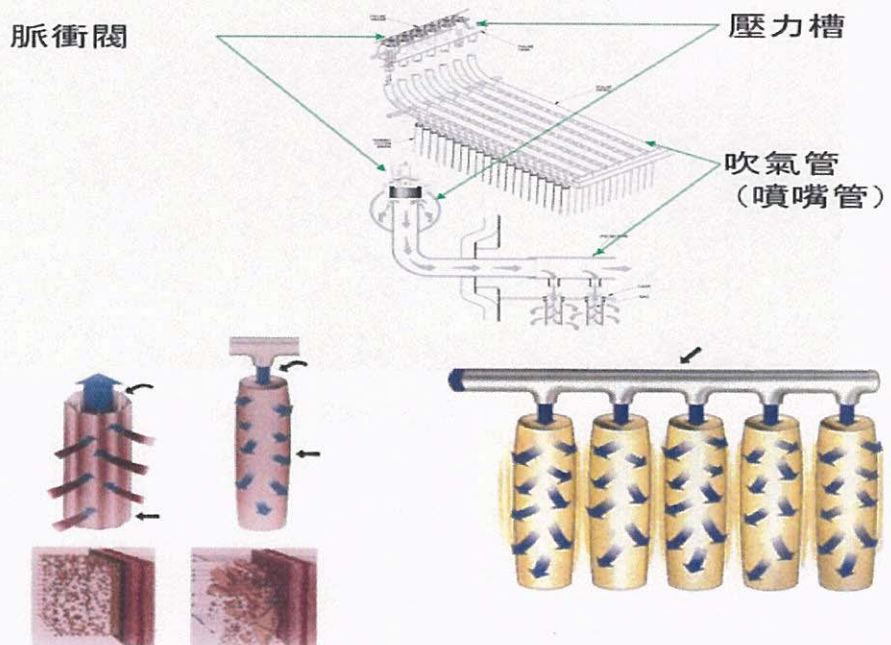


圖 59 調變式脈衝清潔裝置



圖 60 PRS 脈衝閥機組

圖 61 為與電廠人員合影，以下將針對各廠的參訪內容進行介紹：

(一) 砂川電廠：

此電廠燃用北海到當地之煤源（灰份約 30 %），造成袋式集塵器入口粉塵濃度高達 $60,000 \text{ mg/Nm}^3$ ，但其 A/C 比之設計值較低（約 0.8），採用較保守之設計，因此濾袋更換週期可到達 4 年。更換下來之濾袋則送去焚化爐燃燒，燃燒後進行掩埋。在平時維護策略方面，觀察脈衝次數、壓降變化以及粉塵濃度，可評估濾袋及脈衝閥是否出現異常現象，另外該廠請 GE 公司每部機每 6 個月取樣 4 個濾袋，按 GIS 標準進行拉伸強度、透氣度等進行試驗，據以作為濾袋是否需更換濾的標準。

由於運轉 8 年來沒有發生過破袋的情形，因此該廠在備品的準備上，每部機組僅準備 50 個濾袋，總計 2 部機共 100 個濾袋，僅相當於使用數量的 1 % 左右，該廠的員工認為由於袋式集塵器的動件較靜電集塵器少，維護起來較為容易。該廠的粉塵排放限制為 400 mg/Nm^3 ，較我國寬鬆許多，自改用袋式集塵器後，環保排放限制以及煙囪排放黑煙等問題，已不再發生。

(二) 奈井江電廠：

此電廠同樣與砂川電廠一樣，燃用北海到當地之煤源（灰份約 30 %），袋式集塵器入口分塵濃度達 44,100 ~ 47,000 mg/Nm³，A/C 比之設計值約 1.1，較砂川電廠設計值高，經運轉後發現濾袋壽命約 2 ~ 3 年，為求安全起見，以 2 年作為更換週期。此電廠更換下來之濾袋在切成碎片後，統一採掩埋的方事處理。在平時維護策略方面，與砂川電廠相同，觀察脈衝次數、壓降變化以及粉塵濃度，可評估濾袋及脈衝閥是否出現異常現象。另外該廠請 GE 公司每部機每 6 個月取樣 4 個濾袋，按 GIS 標準進行進行拉伸強度、透氣度等進行試驗，據以作為濾袋是否需更換濾的標準。

該廠二號機除在袋式集塵器剛運轉時，嘗試將濾袋更換週期延長至 3 年遇到破袋外，並沒有其他發生破袋的情形，因此該廠在備品的準備上，每部機組僅準備 60 個濾袋，總計 2 部機共 120 個濾袋，僅相當於使用數量的 1.2 % 左右。



圖 61 與電廠人員合照

伍、實習心得

在實習期間除了適應工作環境及培養執行業務能力外，最主要在吸收學習 AQCS 相關知識，藉由實習的機會當面與設計的廠家討論，對專業知識受益匪淺，透過受訓的機會和參訪實際應用 PRS 系統的發電廠，藉由廠家實際操作的經驗分享，讓除了理論的基

礎外，對於日後電廠實際運作及維護的狀況，得以更加清楚，以利日後業務之推行。

燃煤發電是公司當前主要的發電方式之一，但伴隨著燃煤發電則是污染的問題，面對日趨嚴格之環評要求，空污處理的能力已是火力電廠不論是在建廠或營運中最重要的議題之一。未來除繼續努力進行各項污染改善工程，以達成充裕供電與環保兼顧之目標外，並應持續推動環境管理及再生能源發電，以提升環保執行績效並減少污染排放量。

陸、建議事項

- 一、目前林口電廠的袋式集塵器，可以對各分室的差壓以及粉塵濃度進行監測，如在各分室加裝探視孔，對於判斷濾袋的破漏與否，將會有更好的掌握度。
- 二、因為濾袋的品質將會影響機組的穩定運轉，所以日後採購濾袋時需要在合約上嚴格訂定相關的品質參數。
- 三、日後電廠維護如需對濾袋取樣以評估壽命，建議以袋式集塵器入口處之分室（A分室）優先取樣，原因為該分室之濾袋最容易受鍋爐啟動時之油霧所覆蓋，且處理之煙氣量較大，故為濾袋壽命最短的區域。

柒、參考文獻

1. 郁仁貽，空氣污染，復文書局，1992。
2. 林健三，環境工程概論，鼎茂圖書出版股份有限公司，2008。
3. 火力發電大全出版社：高雄復文，作者：許金和
4. Particulate Removal System - Overseas Training Course (GE,2016)