

出國報告（出國類別：會議）

參加第 13 屆亞太地區非破壞檢測會議
(The 13th Asia-Pacific Conference on
Non-Destructive Testing, APCNDT)

服務機關：台灣中油股份有限公司工安環保處

姓名職稱：黃章冠 組長

派赴國家：日本

出國期間：98 年 11 月 8 日至 98 年 11 月 13 日

報告日期：99 年 01 月 6 日

摘要

第 13 屆亞太地區非破壞檢測會議 (The 13th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing, APCNDT) 於 98 年 11 月 9 日至 13 日為期 5 天假日本橫濱 PACIFICO YOKOHAMA - PACIFIC CONVENTION PLAZA YOKOHAMA 舉行，由日本非破壞協會主辦。本次會議共有來自 21 個國家約 200 餘人共襄盛舉，大會共發表論文近 120 餘篇，poster session 約 80 篇，除研討會及四場專題演講外另舉行相關儀器設備展覽會，儀器設備展覽會則有 22 家廠商及非破壞協會等單位參展，可算是亞太地區非破壞檢測界的一場盛事。

研討會期間大會另外安排至 JFE Steel Corporation 東日本製鐵所 (千葉地區) 進行技術參訪，對於煉鋼及鋼鐵之整個製造製程及 JFE Steel Corporation 介紹該公司發表利用超音波探頭陣列式 (Ultrasonic Probe Array) 於熱軋帶鋼偵測內部缺陷之線上偵測系統，其在非破壞檢測 (Non-destructive testing, 簡稱 NDT) 領域之運用成果有更進一步瞭解及對該公司之現場安全管理措施留下深刻印象。

目 錄

頁碼

一、目的.....	1
二、參加會議過程.....	2
三、心得.....	19
四、建議事項.....	26
五、附錄.....	28

一、目的

第 13 屆亞太地區非破壞檢測會議 (The 13th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing, APCNDT) 於 98 年 11 月 09 日至 13 日為期 5 天假日本橫濱 PACIFICO YOKOHAMA – PACIFIC CONVENTION PLAZA YOKOHAMA 舉行，由日本非破壞協會主辦。共有來自 21 個國家約 200 餘人共襄盛舉，大會共發表論文 120 餘篇，poster session 約 80 篇，除本研討會外另舉行相關儀器設備展覽會，可算是亞太地區非破壞檢測界的一場盛會。

大會開幕式及四場專題演講在 PACIFICO YOKOHAMA 會議中心舉行，由第 13 屆亞太地區非破壞檢測會議 APCNDT 主席日本籍 Norikazu Ooka 博士致詞開幕，分組發表論文及儀器設備展覽則分別在 PACIFICO YOKOHAMA 4 樓及 5 樓 501 及 502 室舉行，論文發表共有 5 個討論室同時舉行，儀器展覽會則有 22 家廠商及非破壞協會等單位參展。

與會期間聆聽其他國家專家學者之論文發表及參觀儀器展覽，獲得近年來非破壞檢測 (Non-destructive testing, 簡稱 NDT) 許多寶貴的先進技術及研究發展方向。本次研討會有相當多之亞太地區及歐美先進國家學術界研究成果與產業界的 NDT 檢測工作實務經驗，透過文章發表與座談，相互交流切磋，集思廣益以資作為借鏡及參考，進而吸取檢測技術新觀念。並可藉本次研討會掌握亞太及歐美地區非破壞檢測之新技術、最新動態趨勢及相關管理措施，對本公司在非破壞檢測策略規劃及計畫執行上可有極大助益，並提昇設備安全水準，增進檢測技術及建立更周全的檢測標準程序。

研討會期間，大會於 98 年 11 月 12 日另行安排至 JFE Steel Corporation 東日本製鐵所 (千葉地區) 對於整個鋼鐵製造流程進行技術參訪及 JFE Steel Corporation 介紹該公司發表利用超音波探頭陣列式 (Ultrasonic Probe Array) 於熱軋帶鋼偵測內部缺陷之線上偵測系統，其在 NDT 運用成果有更進一步之瞭解及對於現場安全管理措施留下深刻的印象。

二、參加會議過程

(一) 大會開幕式及專題演講：

第 13 屆亞太地區非破壞檢測會議 (The 13th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing, APCNDT) 於 11 月 9 日上午 9 時假日本橫濱 PACIFICO YOKOHAMA – PACIFIC CONVENTION PLAZA YOKOHAMA 舉行 (會場地點及講台如圖 1、圖 2 及圖 3 所示), 由現任 APCNDT 主席日本籍 Norikazu Ooka 博士主持開幕 (如圖 4 所示), 並邀請 ICNDT (The International Committee for Non-Destructive Testing) 非破壞檢測國際委員會人員致詞。而 APCNDT 上一任第 12 屆主席紐西蘭籍 Les Dick 博士及 APCNDT 下一任第 14 屆主席印度籍 Baldev Raj 博士均共同出席參與開幕式。

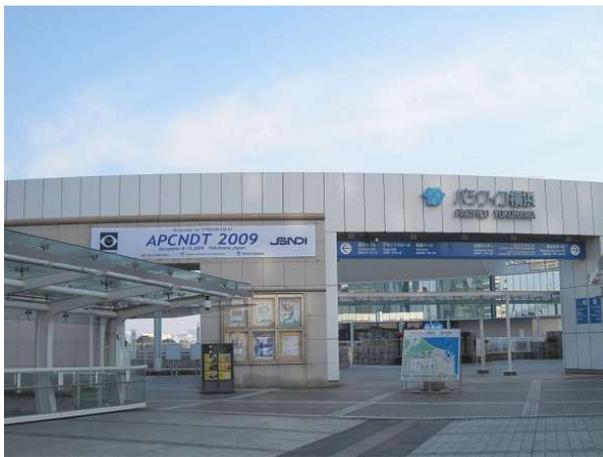


圖 1 APCNDT 舉行會場



圖 2 APCNDT 舉行會場



圖 3 APCNDT 會場講台



圖 4 Norikazu Ooka 博士主持開幕

大會開幕典禮後隨即邀請南韓 Institute of Energy Technology Evaluation and Planning 的 Joon-Hyun Lee 博士講題為「Current status and future strategy of national energy R&D program and overview of related NDE research in Korea」進行第一場專題演講（如圖 5 所示）。他論述由氣候變遷影響至南韓之能源政策，且分享南韓能源與 NDT 相關研究領域之現況及未來策略。並提出下列幾點重點：

1. 面對溫室氣體的增長及氣候變化，創新的能源技術是其主要關鍵。
2. 訂定具體的研發策略，以符合溫室氣體減量目標並促進綠色能源產業。
3. 加強公私營機構合作開發和更新之技術策略為未來重點。
4. 非破壞檢測之線上檢測和智慧型檢測技術，運用在能源行業，尤其是綠色能源產業係非常重要。



圖 5 南韓 Joon-Hyun Lee 博士專題演講

本次會議特別安排針對非破壞檢測之先進技術及對現有工業之重要性等議題進行四場次之專題演講，會議參加者亦被邀請參加聆聽，以進一步了解最新的技術和未來的非破壞檢測技術。茲將講題及演講人分述如後：

1. Current status and future strategy of national energy R&D program and overview of related NDE research in Korea (2009 年 11 月 9 日)
Dr. Joon Hyun Lee (Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, Korea)
2. Harmonization of NDT practice: Experience of the third world country (2009

年 11 月 10 日)

Dr. Abdul Nassir Ibrahim (Malaysian Nuclear Agency, Malaysia)

3. Research and development in NDE and component health monitoring (2009 年 11 月 11 日)

Dr. Glenn M. Light (Southwest Research Institute, USA)

4. Safety assessment of nuclear power plant in the case of earthquake (2009 年 11 月 13 日)

Dr. Shunichi Suzuki (Tokyo Electric Power Company, Inc, Japan)

本次研討會自 11 月 8 日赴日本橫濱至 11 月 13 日返回台北，共 6 天時間，實際研討會議自 11 月 9 日至 11 月 13 日為期 5 天，其方式係以專家專題演講、論文發表及 poster session 等方式進行，其研討會時程表如下所示。

CONFERENCE SCHEDULE

Sunday, November 8, 2009

17:00–19:00 Welcome Party (6F Bay Bridge Cafeteria)

Monday, November 9, 2009

Room 411&412	Room 413	Room 414&415	Room 416&417	Room 418
9:00–9:30 Opening Ceremony (5F Small Auditorium)				
9:30–10:30 Plenary Lecture 1 (5F Small Auditorium) <i>Current status and future strategy of national energy R&D program and overview of related NDE research in Korea</i> Dr. Joon-Hyun Lee (Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, Korea)				
10:30–11:00 Coffee Break (5F Foyer)				
11:00–11:50 UT1	11:00–11:50 UT2	11:00–11:50 ET1	11:00–11:50 MT1	11:00–11:50 GS1
11:50–13:30 Exhibition (5F 501&502)				
13:30–15:10 UT3	13:30–15:10 UT4	13:30–15:10 ET2	13:30–14:45 RT1	13:30–15:10 AT1
15:10–15:40 Exhibition (5F 501&502) & Coffee Break (5F Foyer)				
15:40–17:20 UT5	15:40–16:55 UT6	15:40–16:55 ST1		15:40–17:20 AT2

Tuesday, November 10, 2009

Room 411&412	Room 413	Room 414&415	Room 416&417	Room 418
9:00–10:00 Plenary Lecture 2 (4F 411&412) <i>Harmonization of NDT practice: Experience of the third world country</i> Dr. Abdul Nassir Ibrahim (Malaysian Nuclear Agency, Malaysia)				
10:00–10:30 Exhibition (5F 501&502) & Coffee Break (5F Foyer)				
	10:30–12:00 PS1	10:30–12:00 PS2	10:30–12:00 PS3	
12:00–13:30 Exhibition (5F 501&502)				
13:30–14:45 UT7	13:30–14:45 UT8	13:30–15:10 UT9	13:30–15:10 RT2	13:30–15:10 AT3
15:10–15:40 Exhibition (5F 501&502) & Coffee Break (5F Foyer)				
	15:40–17:10 PS4	15:40–17:10 PS5	15:40–17:10 PS6	

AT: Acoustic Emission Testing
ET: Eddy Current Testing
GS: General Session
MT: Magnetic Testing
PS: Poster Session

RT: Radiographic Testing
ST: Strain Testing
TT: Infrared Thermographic Testing
UT: Ultrasonic Testing

CONFERENCE SCHEDULE

Wednesday, November 11, 2009

Room 411&412	Room 413	Room 414&415	Room 416&417	Room 418
9:00–10:00 Plenary Lecture 3 (4F 411&412) <i>Research and development in NDE and component health monitoring</i> Dr. Glenn M. Light (Southwest Research Institute, USA)				
10:00–10:30 Exhibition (5F 501&502) & Coffee Break (5F Foyer)				
	10:30–12:00 PS7	10:30–12:00 PS8	10:30–12:00 PS9	
12:00–13:30 Exhibition (5F 501&502)				
13:30–15:35 UT10	13:30–15:10 UT11	13:30–14:45 UT12	13:30–15:20 RT3	13:30–15:35 TT1
15:10–15:40 Exhibition (5F 501&502) & Coffee Break (5F Foyer)				
	15:40–17:10 PS10	15:40–17:10 PS11	15:40–17:10 PS12	
18:00–21:00 Banquet (InterContinental the Grand Yokohama, 3F Ballroom)				

Thursday, November 12, 2009

Room 411&412	Room 413	Room 414&415	Room 416&417	Room 418
9:00–10:40 UT13	9:00–10:15 UT14	9:00–10:15 GS2	9:00–10:15 GS3	9:00–10:25 TT2
10:15–11:00 Exhibition (5F 501&502) & Coffee Break (5F Foyer)				
11:00–11:50 UT15	11:00–12:15 UT16	11:00–11:50 GS4	11:00–12:15 GS5	11:00–12:15 GS6
11:50–13:00 Exhibition (5F 501&502)				
13:30–19:00 Technical Tour (JFE Steel Corporation) Option: Additional fee 2,000 Yen				

Friday, November 13, 2009

Room 411&412	Room 413	Room 414&415	Room 416&417	Room 418
9:00–10:50 UT17	9:00–10:40 UT18	9:00–10:15 GS7	9:00–10:40 GS8	9:00–10:40 GS9
10:30–11:00 Coffee Break (5F Foyer)				
11:00–12:00 Plenary Lecture 4 (5F Small Auditorium) <i>Safety assessment of nuclear power plant in the case of earthquake</i> Dr. Shunichi Suzuki (Tokyo Electric Power Company, Inc., Japan)				
12:00–12:30 Closing Ceremony (5F Small Auditorium)				
Afternoon APCMM2009 (Asian Pacific Conference for Materials and Mechanics 2009) Opening Ceremony & Plenary Lectures (5F Small Auditorium) Participants of APCNDT 2009 may attend without additional fee.				

11 月 10 日第二場專題演講由馬來西亞 Abdul Nassir Ibrahim 博士主講

「Harmonization of NDT practice: Experience of the third world country」之議題（如圖 6 所示）。Abdul Nassir Ibrahim 博士介紹第三世界非破壞檢測技術之執行實務及經驗，並提出下列幾點重點：

1. 第三世界應努力協調並加強鼓勵區域合作協議會員國（Regional Cooperative Agreement, RCA）之非破壞檢測技術實驗室能儘快通過 ISO 17020 認證。
2. 馬來西亞預計在 2010 年積極通過非破壞檢測技術實驗室 ISO 17020 認證，成為區域合作協議會員國第一個通過認證國家。



圖 6 馬來西亞 Abdul Nassir Ibrahim 博士專題演講

此外，11 月 11 日第三場專題演講由美國 Glenn M. Light 教授主講的「Research and development in NDE and component health monitoring」之議題也獲得很大的迴響（如圖 7 所示）。Glenn M. Light 教授除介紹進 30 年來非破壞檢測技術之演進及發展歷程外，並提出下列幾點重點：

1. 隨著每年科技技術水平的提高，一般性非破壞檢測方法與標準程序大部分應可涵蓋非破壞檢測之要求。
2. 由於組件設計要求之增加，先進的系統設計和先進的材料要實際成為商業化用途，則需要更專門的非破壞檢測技術來輔助。
3. 石化廠及發電廠等工廠執行非破壞檢測時，有許多場所及設備係不易接近檢測，且石化廠需要大面積及大範圍的檢測方式，才能有效降低成本及發揮其效益。
4. 提出未來可朝先進之即時（real-time）檢測監測系統發展，以提供更有效

之維修效能，應是非破壞檢測界值得思考及研發的方向。

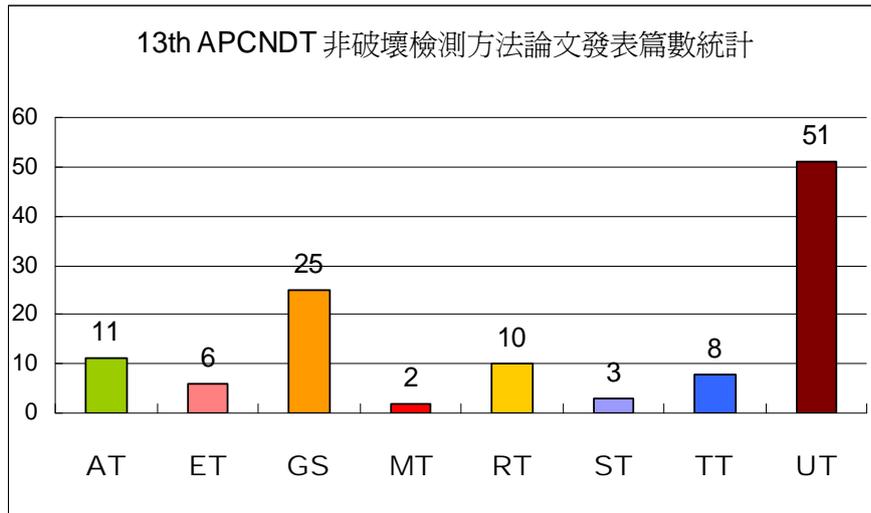


圖 7 美國 Glenn M. Light 博士專題演講

(二) 論文發表及 poster session：

論文發表於 11 月 9 日至 11 月 13 日為期 5 天舉行，每位專家學者全程有 15 分鐘使用英文口頭論文發表及 10 分鐘時間與聆聽者進行互動討論。本次大會發表論文共有約近 120 篇，其中發表篇數國家之排名先後順序分別為日本（54 篇）、中國（17 篇）、南韓（16 篇）及台灣（12 篇），此 4 個國家之發表篇數佔本次大會論文發表篇數達 83%，顯然日本、中國、南韓及我國等 4 個國家之 NDT 發展情形在亞太地區應具有領先地位，本次研討會吾人依照非破壞檢測方法之分類及統計分析如下：

檢測方式	論文發表篇數
AT ： Acoustic Emission Testing	11
ET ： Eddy Current Testing	6
GS ： General Session	25
MT ： Magnetic Testing	2
RT ： Radiographic Testing	10
ST ： Strain Testing	3
TT ： Infrared Thermographic Testing	8
UT ： Ultrasonic Testing	51



至於 poster session 於 11 月 10 日和 11 月 11 日兩天舉行，每位專家學者僅有 3 分鐘簡短的口頭報告，無與聆聽者進行互動討論方式，另大會安排全程有 60 分鐘展示每位專家學者 poster session 的研究作品，與參觀人員進行互動討論。大會亦從所有參賽 poster 作品中評選優秀論文獎或優秀學生論文獎，並鼓勵學生於 poster 會議中介紹研究作品。本次大會共有 poster session 發表約近 80 篇（如圖 8 所示），其中發表國家之篇數排名先後順序分別為日本（40 篇）、南韓（20 篇）、台灣（5 篇）及中國（5 篇），佔本次大會 poster session 發表篇數達 88%。



圖 8 poster session 代表作品

此外，11月12日由有紅外線檢測法(TT: Infrared Thermographic Testing)權威之希臘籍 Xavier P. V. Maldague 教授在此次大會發表論文一篇，議題為「Nondestructive assessment of glass fibre composites by near and mid-wave infrared vision」，係藉由近紅外線光譜和中紅外線光譜對玻璃纖維複合材料的非破壞檢測評估之研究成果，得到紅外熱影像和紅外視覺可運用於檢測玻璃纖維材料(如圖9所示)，且先進的紅外影像處理可允許用於檢測缺陷之深度，而近紅外線光譜的結果則可取決於表面條件，如繪畫或熱處理則會產生反射及輻射而影響近紅外線光譜之準確度，本研究結果獲得與會學者專家關注，獲得熱烈迴響。

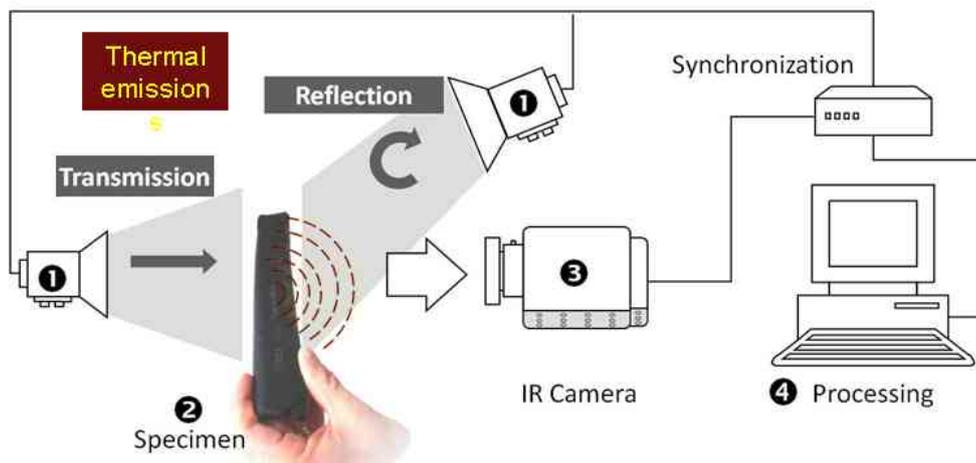


圖9 紅外線檢測儀原理圖

(三) 攜回資料及內容：

本次會議攜回主辦大會發給之研討會論文集一冊，內容共 258 頁。

(四) 儀器設備展覽：

此次儀器設備展覽會主要有來自日本、美國及中國等國家之儀器廠商、研究機構、非破壞檢測協會(18th WCNDT、14th APCNDT 及 JSNDI)等共 22 個單位參展(如圖 10、圖 11 為展覽場照片)。



圖 10 儀器設備展覽場



圖 11 儀器設備展覽場

本次除了單機儀器外，亦有許多較大型或複雜檢測系統之廠家或研究單位展出其儀器系統，如在金屬管棒線上使用之高速渦電流檢測系統、透地雷達檢測系統、高速紅外線檢測、TOFD(Time Of Flight Diffraction)波形時間繞射法系統等。其中 TOFD 波形時間繞射法系統（如圖 12 所示），其屬性屬非侵入性，係首創於英國原子能研究所(AEA)之非破壞檢測研究中心，利用兩端點繞射的波程差，可確定出端點並量測缺陷大小，當超音波遭遇裂縫狀缺陷時，會自端點產生繞射現象並作放射狀傳遞，其最大用途係檢出金屬結構物中如反應器、壓力容器焊道及胴體腐蝕裂紋、高溫設備等之缺陷，並可度量其尺寸及位置，尤其是對接銲道中之缺陷檢測可算是不錯的先進檢測儀器。



圖 12 TOFD 波形時間繞射法儀器外觀

TOFD 波形時間繞射法檢測系統可簡單歸類具有下列之檢測功能：

1. 量測精度高($\pm 1\text{mm}$)

2. 檢測速率高(2-4m/min)
3. 缺陷尺寸量測及監控
4. 缺陷方位幾乎不影響檢測效果
5. 不以訊號振幅高低判斷缺陷大小
6. A-Scan、B-Scan、D-Scan 影像顯示外，可透過各種後處理，強化檢測數據分析

TOFD 波形時間繞射法檢測系統之優缺點可歸納如下：

優點	缺點
1.對瑕疵檢測非常靈敏	1.滯留區 Dead Zone 較無法測得
2.由繞射波到達時間，可計算內部瑕疵大小及檢測結果再現性高	2.瑕疵型態分析困難

另外本次展覽同時展示近年來發展較快速之 NDT 新技術有高速紅外線、相位陣列式(Phased Array)檢測系統、金屬磁記憶診斷技術及紫外線影像檢測技術、雷射干涉儀、工業用電腦斷層檢測系統等，深感 NDT 儀器設備每年隨著科技均有突破性之進展及運用，藉由本次參觀多項先進的儀器設備展覽及交流，可算是獲得 NDT 新知技術之一大契機。

(五) JFE Steel Corporation 技術參訪：

研討會期間，大會於 98 年 11 月 12 日安排至 JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（千葉地區）對於整個鋼鐵製造生產過程進行技術參訪。日本 JFE 鋼鐵公司是世界上最大的鋼鐵製造商，日本 JFE 該集團之業務，涵蓋包括鋼鐵製造，工程，造船，城市發展，電子電路，環保回收的解決方案和研發等業務範圍。

JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（京濱地區）及東日本製鐵所（千葉地區）分別成立於 1912 年及 1950 年，其地理位置亦分別坐落於日本東京灣西側及東側之工業區內（如圖 13 所示），是一個屬於城市型之鋼鐵廠，本次大會所提供之技術參訪即是 JFE Steel Corporation 東日本製鐵所(千葉地區)。



圖 13 JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（千葉地區）位置圖

JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（千葉地區）佔地面積達 765.9 萬平方公尺，約有 164 個東京巨蛋之大。東日本製鐵所（千葉地區）是日本在第二次世界大戰後第一個現代沿海一貫作業綜合鋼鐵廠（如圖 14 所示），亦是日本的首家民營鋼鐵廠，擁有先進的基礎設施及最先進的煉鋼技術，生產最高品質的鋼鐵產品。東日本製鐵所（千葉地區）生產值為年產量約 12 億噸，其產品不僅使用在工業上，為符合 21 世紀之相關需求，該公司產品也被廣泛應用在日常生活中，如汽車鋼板、家用建材、浴槽、流理台、食品罐頭及石化工廠高性能鋼管等用途。同時也積極參與環境保護工作，尤其日本政府對高爐進料之廢料回收有嚴格要求下，東日本廠也配合訂定嚴格資源和節約能源計劃，是屬於一個示範性關鍵的工廠，說明在 21 世紀環保意識高漲的今天，鋼鐵廠雖位於城市中，依然能夠與環境及社區和諧相處，這點係值得國內工廠做為將來發展之借鏡。



圖 14 JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（千葉地區）外觀圖

JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（千葉地區）從煉鐵到熱軋由原料處理⇒製銑⇒製鋼⇒連續鑄造⇒熱間壓延⇒冷間壓延⇒表面處理⇒帶鋼成品（如圖 15 所示）係屬於一貫作業的生產流程。尤其隨著陸地及淺海油氣資源越來越少，許多石油公司積極考慮向更深水域探索油氣，對於使用於深海的油管相對提出管徑更大及管壁更厚，並能在海底彎曲鋪設之嚴格需求。JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（千葉地區）之 UOE(Uing and Oing forming) 生產技術係先把鋼板折為 U 型，再折為 O 型，然後再四周擴展該成形管的一種新技術，而 UOE 技術所生產之產品即是符合大管徑及厚管壁之需求。

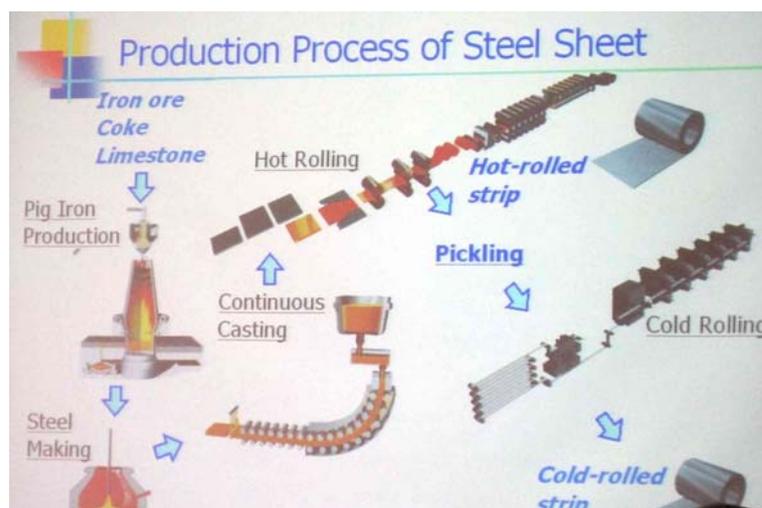


圖 15 JFE Steel Corporation（千葉地區）帶鋼生產流程圖

JFE Steel Corporation 該公司特別安排技術參訪人員參觀西工場之第 3 熱

間壓延工場（如圖 16 所示），雖然整個參訪過程均未提及該廠之安管理相關規定，惟參訪前要求參訪人員一律須更換工作服，配戴安全帽及抗紫外線護目鏡等個人安全防護裝備，才能進入廠區參訪，顯然該公司貫徹安全管理從訪客開始要求落實，讓人留下深刻的印象。且由於現場背景噪音非常吵雜，該公司貼心地為每人準備耳機對講機一部，以便於廠區內可清晰聽取解說人員之說明及介紹。

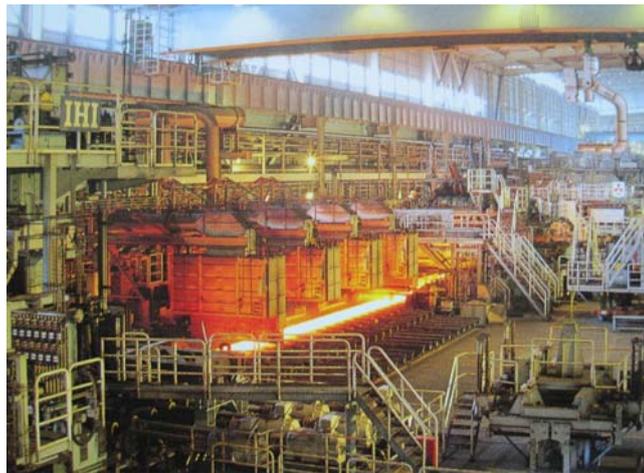


圖 16 JFE Steel Corporation（千葉地區）第 3 熱間壓延工場

JFE Steel Corporation 該公司介紹於國際上表發之技術論文「An On-line Detection Technique for Internal Flaws in As-hot-rolled Steel Strip Using Ultrasonic Probe Array」，即係利用超音波探頭陣列式（Ultrasonic Probe Array）於熱軋帶鋼偵測內部缺陷之線上偵測系統，其在 NDT 運用成果讓人有更進一步之瞭解及受國際 NDT 界肯定。該技術係一種使用於輸送中帶鋼以檢測內部缺陷之新超音波浸漬（immersion method）檢測方法，且採連續監測。係由傳輸探頭陣列和接收探頭陣列相對安裝於薄鋼板兩邊的水中所組成（如圖 17 所示），由接收探頭陣列可收到下列兩個缺陷回波：

1. F1 缺陷回波會先反應在內部缺陷再到帶鋼壁表面上。
2. F2 缺陷回波則會先反應在帶鋼底部壁再到內部缺陷上。

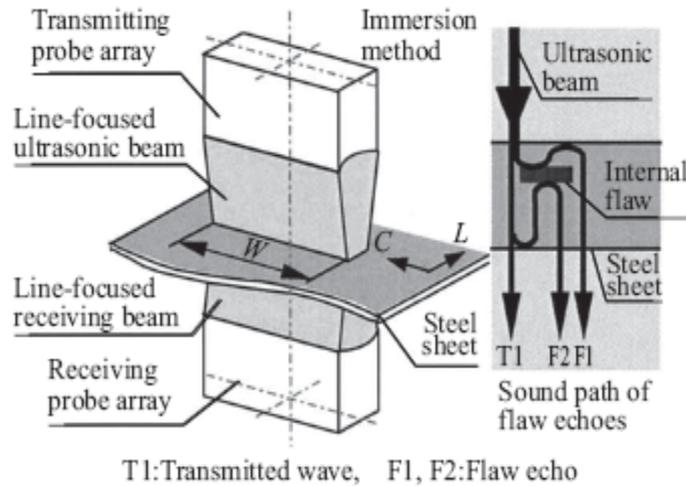


圖 17 超音波探頭幾何原理

圖 18 是 A 範圍顯示之回波位置與缺陷方向位置間的關係圖。由該圖可得到缺陷位置接近壁表面或帶鋼底部，F1 缺陷回波路徑長度較短，且重疊在 T1 通過傳波線路上，故 F1 缺陷回波將無法被確認出來。相反地，F2 缺陷回波路徑長度較長，在 T2 通過傳波之前可被接受到。F2 缺陷回波和 T2 通過傳波間之時間差與缺陷和接近表面間之距離有成正比的关系，也由於 T2 通過傳波前因沒有收到回波，所以 F2 缺陷回波可以清楚地被確認出來，也就是根據此項結果，可以檢測出帶鋼之內部缺陷。

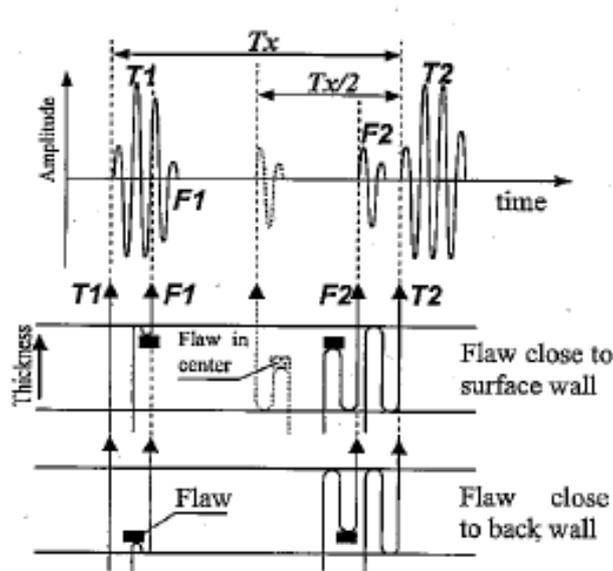


圖 18 回波位置與缺陷方向位置間的關係圖

帶鋼線上區域可以藉由傳輸線聚焦超音波束（25 MHz 頻率）在超音波脈衝重複之內的重複週期檢測，使用在傳輸探頭陣列的所有元素與接收探頭陣列收到的並行處理信號。超音波檢測系統安裝在 JFE Steel 該公司（千葉地區）酸洗線 6 號上採連續檢測方式，並使用 6 個外加偏轉器捲（deflector rolls），而於帶鋼浸泡水中測試（如圖 19 所示）。探頭陣列的傳輸和接收探頭陣列覆蓋整個帶鋼的寬度，使整個帶鋼能實地被檢測。此項發表證實於信號噪音比在 9-10 dB 範圍內，即使是缺陷在 $5 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ 內極小的體積仍可以檢測出。該系統已實際運用在生產線上，對於內部品質控管和保證係非常實用地，在日本商業用途上有不錯的評價。本次 JFE Steel Corporation 之技術參訪無論從該公司之安全管理或是在 NDT 運用成果領域都有不錯的收穫，讓人留下深刻的印象。

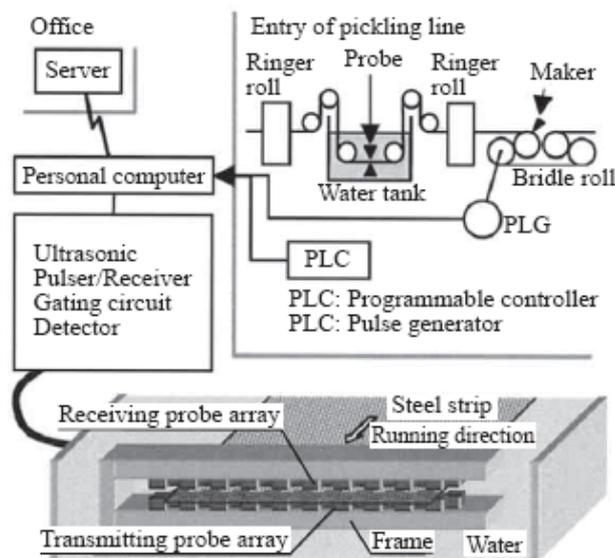


圖 19 探頭檢測系統幾何原理圖

(六) 專題演講及大會閉幕式：

大會於 11 月 13 日上午 11 時邀請日本 Tokyo Electric Power Company, Inc 的 Shunichi Suzuki 博士進行專題演講（如圖 20 所示），講題為「Safety assessment of nuclear power plant in the case of earthquake」，主要內容係針對日本 2007 年 7 月 16 日新潟地震對柏崎刈羽核電廠的影響及安全評估。日本 2007 年 7 月 16 日新潟縣柏崎市附近海域發生 MW 6.6 地震(日本氣象局震級 MJMA 6.8)，該地震引發世界最大核電廠-柏崎刈羽核電廠多起核能工安事故，是全

世界有記載紀錄中對核電廠影響最為嚴重的地震，造成七組發電機全部停機，3 號機的變壓器發生火災，6 號機有含微量放射物質的水外漏、1~7 號機核子反應爐操作大樓有含微量放射物質之水外漏，以及 6 號機核子反應爐頂端吊車軸破損的情形。該講題根據收集到的資料，詳細介紹了該地震對柏崎刈羽核電廠造成的影響，最後論述了日本原子力技術協會（JANTI）及 SANE（Structural Integrity Assessment for the Nuclear）對該地震的反思，以及從中吸取的相關經驗教訓。並提出下列幾點重點：

1. 進行檢查和分析等結合之完整性評估是相當重要的，如果檢查發現異常時，即應進行額外檢查及全面性評估。
2. 即使組件屬於較不具安全性之意義，或者非屬安全重要性損壞時，皆不應該被忽略檢查。
3. 此次事故之共同認知係造成安全重大組件之損壞可能是來自沒有完整相關規定及法令，且核電廠未採用嚴密的設計標準及考慮材質邊際安全性等因素。
4. 日本的核電廠，今後的任務應是積極建立震後行動（post-earthquake actions）及重新啓動之相關準則。
5. 核能工業是屬於社區全球性產業，個體經營者必須提供適當的訊息，並公開討論分享相關知識。
6. 加強灌輸民眾正確之教育和知識，及有必要探討如何加強救濟方式意義。



圖 20 日本 Shunichi Suzuki 博士專題演講

專題演講後大會隨即於上午 12 時舉行閉幕典禮，由現任 APCNDT 主席日本籍 Norikazu Ooka 博士主持閉幕，並宣布第 18 屆世界非破壞檢測研討會（18th WCNDT）將於 2012 年的南非德班（Durban, South Africa）舉行，第 14 屆亞太地區非破壞檢測研討會（14th APCNDT）將於 2013 年的印度孟買舉行（Mumbai, India），期待後會有期，本屆 13th APCNDT 在與會者互道珍重再見後圓滿完成。

三、心得

此次奉派赴日本橫濱參加 13th APCNDT 研討會主要係為學習及吸取亞太地區近年來 NDT 新知與技術發展情形，以利設備檢查 NDT 技術之推行工作。本公司之石化及煉油等工廠，製程管線及設備為生產之重要元件且輸送內容物大部分為易燃性油料。惟眾多管線或設備中，若僅於短短的歲修中並無足夠時間進行全面性之檢查及檢測，因此常有一些管線或設備因無法進行檢測而於操作中洩漏或損壞，甚至有發生工安事故之虞。且既有之檢測技術若要執行涵蓋大範圍及大面積之製程設備及管線，恐需耗費許多人力、物力及時間來實施，故在生產及工安兩者之間常常較無法取得平衡點。本次研討會之專家學者論文發表中有提及包含紅外線檢測法（Infrared Thermographic Testing）、導波檢測法（guide wave Testing）、音洩檢測法（Acoustic Emission Testing）等三種非破壞檢測技術，深感應可運用於大範圍及大面積之設備及管線篩選來克服上述之問題，做為本公司將來全面推廣之借鏡。茲將三種非破壞檢測技術分述於后：

（一）紅外線檢測法（Infrared Thermographic Testing）

此技術主要是利用當物體本身溫度大於絕對零度時會輻射紅外線的原理而來，經由紅外線熱影像儀接收物體所輻射的紅外線能量並將其感測所得之能量分布情形轉成肉眼可觀看之影像而顯示於儀器螢幕上，檢測分析人員可利用此螢幕上之紅外線熱分布情形及溫度值，而監控或預知設備是否有異常狀況發生。因其屬於非侵入性的檢測方法且可經由影像而達到可視性，再加上其具有大面積掃描的特性，所以很適合運用於大範圍操作中之設備檢測

上。因此紅外線檢測技術舉凡在加熱爐內燃燒情形、爐管之溫度遙測及熱斑情形之監測、設備保溫保冷材之劣化評估及熱損檢測、輸配電線路之檢測、配電盤之電氣接點、管線包覆層表面情況及機械上之泵浦、馬達等皆是可應用之項目範圍，並可降低檢測成本及時間。

由於其檢測原理係感測被測物體輻射出之電磁波，根據紅外線之類譜及強度計算出溫度，顯現被測物之熱像，也就是將輻射強度轉換成熱影像及溫度。故紅外線檢測法運用於本公司之檢查重點應可歸類如下：

1. 容器液面、料位的檢測。
2. 管線的檢測(爐管溫度的測試、管線的結焦、沉積、堵塞、氧化剝落之檢測與診斷、保溫效果之評估)
3. 電器設備的監測和故障診斷。

由於紅外線是屬於電磁波譜上波長 $0.75\sim 1000\mu\text{m}$ 之電磁波，凡物體溫度大於絕對溫度時，皆會輻射紅外線，且不同的溫度所輻射的紅外線能量必定不同。紅外線檢測器所接收的能量，除了被測物體本身因溫度不同所輻射之紅外線能量外，還可能包括其它物體或環境所輻射之紅外線經由被測物之反射及經由穿透被測物而到達檢測器之能量，且其接收的能量也與被測物的放射率有關。

故紅外線檢測儀器上所感測到之能量不僅只有被測物所輻射的紅外線能量，另外還包括反射及透射的能量，故在執行紅外線檢測時應考慮一些技術層面上的問題，若忽略下列問題時，則會產生重大的誤差而導致誤判：

1. 有反射及穿透現象存在時，應考量如何定量其反射源及穿透源能量。
2. 應考量放射率、反射率、穿透率所給值之正確性，若不正確則所量得之溫度會發生誤差。
3. 應善加利用輔助設備及相關技術來減少放射率及反射率等的錯誤估計值。
4. 利用特殊紅外線反射鏡來求得反射源輻射能量。

圖 21 為爐管熱斑檢測之案例，以紅外線遠距量測對流區之爐管發現有熱斑產生，及早通知相關單位提高警覺防止操作溫度超過金屬耐溫極限，藉以避免爐管燒毀而發生火災意外事故。圖 22 為熱油泵聯軸器對心不良之紅外線

熱分布圖像，利用紅外線量測此對心不良所造成的軸承過熱情形，因及早發現阻止軸承因過熱而引發泵浦內油質過熱而發生火災。圖 23 是紅外線熱影像用於蒸汽管線之保溫材料包覆之檢測案例，藉此找出問題點以避免能源之浪費及避免冷凝水提前產生而撞擊汽機葉片而故障。

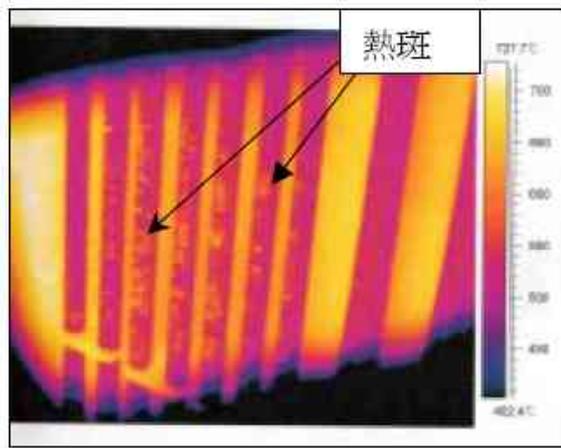


圖 21 爐管熱斑檢測之應用

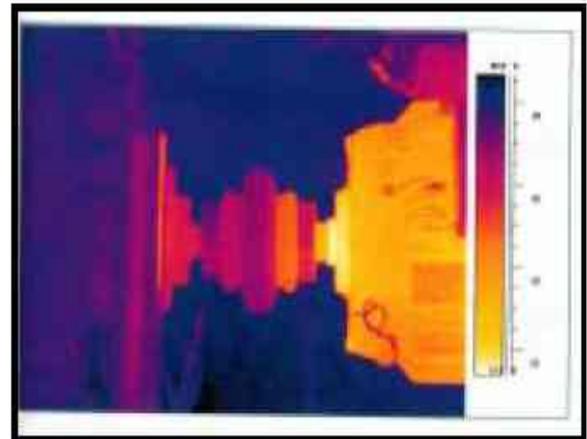


圖 22 熱油泵之聯軸器對心不良之紅外線熱影像

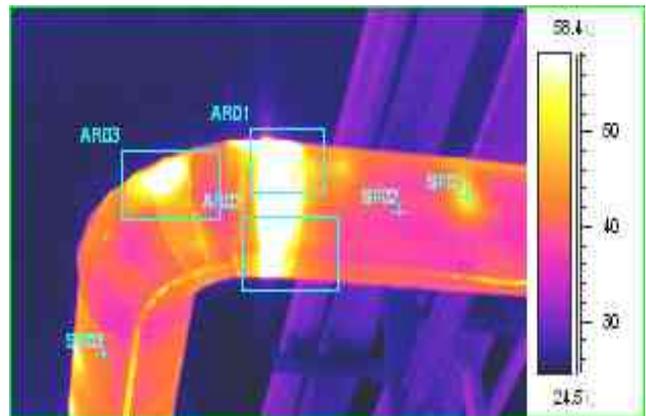


圖 23 紅外線量測保溫材料劣化之紅外線熱影像

(二) 導波檢測法(guided wave Testing)

導波檢測法是一種針對管線缺陷檢測之非破壞檢測方法，此法可快速篩選出管線中之腐蝕 (Corrosion/Erosion) 缺陷，且一次激發檢測距離可達數十公尺，若發現可能之缺陷時則再利用其檢測技術進行細部檢測。而此技術檢測時只需去除探頭置放處之保溫保冷材供探頭置放即可進行檢測，利用此檢測技術可避免擇點測厚會遺漏正好有腐蝕之區域，但對局部較小之孔蝕及裂縫其檢測靈敏度則又稍嫌不足。

導波檢測技術係利用探頭之激振產生超音波入射於管件表面，在管件中

傳遞選定的萊姆波(Lamb Wave)模態，遇不連續之界面缺陷產生反射之回波，經由分析回波訊號判斷腐蝕情況或缺陷所在之相關情形。故導波檢測技術運用於本公司之檢查重點及項目應可歸類如下：

1. 操作中進行管線檢測及長距離管線檢測
2. 檢測各種支撐下之管線及高架管線
3. 不需拆除包覆之管線腐蝕檢測
4. 外徑從 1 吋至 24 吋以上之管線檢測

導波檢測技術係以一環狀探頭安裝在管線上，具有不需耦合劑、通常也不需做表面前處理、多重模組可節省時間和成本及可作管線全面定性檢測之優點，如圖 24 所示。雖導波檢測技術可解決目前管線檢測的許多瓶頸，屬於定性檢測法，但實際運用於管線檢測時導波檢測法仍有一些限制，茲分述如下：

1. 回波訊號的產生乃是導波在管線中傳播時遇有管線截面積改變所致之現象。若當導波檢測技術使用在已有銹蝕斑點之老舊管線時，會將此銹蝕斑點之回波訊號大量地傳回分析儀器上而形成背景雜訊，此雜訊會影響導波偵測管線微小缺陷之靈敏度，且此背景雜訊亦會消耗傳遞能量而降低導波在管線上傳播之距離。
2. 管線包覆材料會使導波之傳遞能量衰減掉，尤其以輸送瀝青之管線最為嚴重，會使原來可從檢測幾十公尺長之導波訊號衰減至僅剩下可傳播幾公尺長的距離。
3. 導波在管線傳播時，若遇有彎頭 (elbow) 時會有回波傳回接收端，而曲率半徑太小之直徑 3 吋以下小彎頭，將使彎頭上之缺陷無法辨識。且管線上的彎頭會讓回波訊號失真，故在規劃檢測範圍時，每次的檢測距離盡量不要涵蓋 2 個以上的彎頭。
4. 導波測技術無法偵測出管線上的支管(Branch)、排氣管(Vent)及排水管(Drain)處的管中腐蝕現象。



圖 24 應用於管線之導波檢測儀器

(三) 音洩檢測法 (Acoustic Emission Testing) :

音洩檢測法是一種屬於非侵入性之非破壞檢測方法，音洩乃是由於材料內部能量之快速釋放而產生一種暫態應力波的現象。由於具有偵測正在活動之裂紋 (Cracking) 缺陷及偵測塑性變形的能力，所以對於壓力容器或高壓氣體特定設備等危險性設備之檢測及裂紋缺陷監控而言具有相當程度之意義。音洩訊號產生來源為材料中因局部應力的突然改變而釋放出應力波或應變波。

使用音洩檢測技術於製程中壓力容器設備上的範圍為：

1. 偵測使用中環境所引起的苛性脆裂及濕式硫化氫應力腐蝕裂紋
2. 用於全面性偵測對結構完整性有重要影響的裂紋區域

音洩檢測法係偵測分析應力於物料上所產生斷連的微小音射訊號，適當的分析此等訊號，即可獲得有關斷連位置及其結構資料。故運用於本公司之檢查重點及項目應可歸類如下：

1. 檢驗壓力容器的缺陷
2. 結構疲勞裂痕的檢查
3. 監測熔接及冷卻時的熔件
4. 確定結構中的應力腐蝕裂痕及氫脆損傷

執行音洩檢測時之影響因子包含有：

1. 壓力容器所使用之材料及其厚度

2. 波傳因素
3. 檢測時之材料溫度
4. 材料中缺陷之損傷機構
5. 容器中之流體形式

音洩波是由缺陷本身放射出後再經由材料傳遞至探頭而被探頭所接收而成爲音洩檢測訊號。而音洩檢測應用於製程壓力容器方面之優缺點可歸納如下：

優點	缺點
1. 檢測範圍可全面含蓋設備之範圍	1. 僅是一種篩選方法，故無法得知缺陷種類及大小的量化值
2. 可線上（on-line）檢測裂縫成長，且不須進入容器內即可進行檢查	2. 不適用於有雜訊之場合，且需要高技術的人員去規劃檢測工作及分析訊號才能確保正確之評估結果
3. 可偵測對結構安全上具重要的缺陷，且可偵測成長中之缺陷	3. 僅能偵測出在測試期間具活性的缺陷，研判技術層次較高

圖 25 是本公司引進之音洩檢測儀器及檢測中之音洩訊號，該圖之右側顯示爲該儀器之軟體所提供之有效缺陷訊號之嚴重性判定準則，共分爲 ABCDE 五個等級，其所代表之意義內容可歸類如下：

等級	內容說明
AB	當作下次檢測及下次追蹤之參考
C	須再確認檢測訊號或再檢測
D	須進一步以適合的非破壞檢測方法檢查評估其嚴重度
E	必須馬上停機檢查否則會有立即性之危險

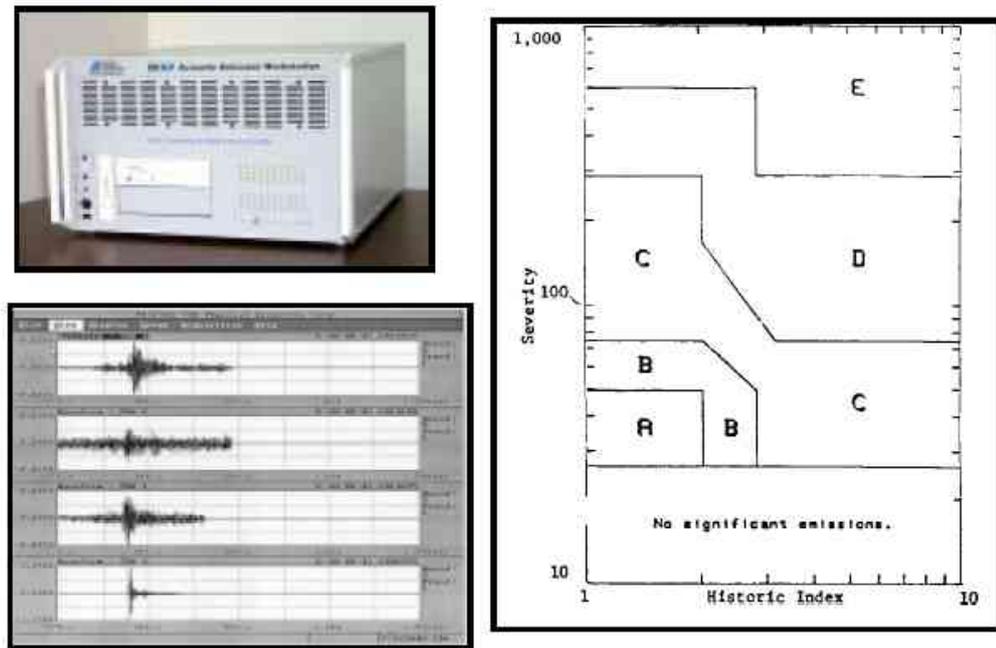


圖 25 音洩儀器、音洩訊號及評估軟體之評估等級分類

(四) 論文發表及 poster session :

綜合本次論文發表及 poster session 之分析及統計得到下列觀點：

1. 各國非破壞檢測研究方向不論是在檢測技術或相關設備，投入最多之研究資源仍以超音波檢測（**UT**：Ultrasonic Testing）為主，其次係音洩檢測法（**AT**：Acoustic Emission Testing），射線檢測（**RT**：Radiographic Testing）再次之。尤其如馬來西亞及印度等第三世界的國家，投入 **RT** 之資源最多，可能與其專業及設備成本考量有相對關係。
2. 本次論文顯示非破壞檢測技術目前最熱門之應用領域為土木公共工程及非金屬元件，尤其我國專家學者之論文大部分係運用於土木公共工程方面為主，令人大開眼界。而中國之論文則仍以 **NDT** 應用於金屬元件為主軸。
3. 本次大會由於各國大專院校之在校生增加投入於非破壞檢測技術方面研究，及學術單位亦逐漸注重 **NDT** 理論之探討，因此本次大會論文數量及水平相對提升不少。

(五) JFE Steel Corporation 技術參訪：

1. JFE Steel Corporation 東日本製鐵所（千葉地區）雖位於城市中，尤其是日

本對高爐進料之廢料回收有嚴格環保資源和節約能源計劃要求下，依然能夠與環境及社區和諧相處，這點值得作為借鏡。

2. 該公司特別安排技術參訪人員參觀西工場之第 3 熱間壓延工場，雖整個過程均未提及該廠之安管理相關規定，但要求參訪人員一律須更換工作服，配戴安全帽及抗紫外線護目鏡等個人安全防護裝備，才能進入參訪，顯然該公司安全管理執行面從訪客開始要求，讓人留下深刻的印象。惟觀察該廠之多處設備外觀已明顯脫漆及生鏽，尤其冷卻水塔（Cooling Tower）多處長草，可能仍然以生產為導向，整個工廠之 5S 工作仍有加強的空間，如圖 26 所示。



圖 26 冷卻水塔及相關輸送設備外觀圖

3. 該公司在研究發展方面擁有龐大研究人員及經費，從事於生產上之改進及開發新產品，尤其在 NDT 之應用不僅購買先進新設備及儀器，更加以研究及改良其相關用途，如前述技術論文「An On-line Detection Technique for Internal Flaws in As-hot-rolled Steel Strip Using Ultrasonic Probe Array」即是最佳例子。

四、建議事項

- (一) 不斷地吸取及獲得 NDT 技術新知及其運用發展，才能提升 NDT 工作效能及降低成本，故建議積極參加國內外非破壞檢測技術研討會及相關專業訓練，以加強提升技術人員 NDT 專業程度及新知，係有其必要性。
- (二) 國內定性的檢測技術已不能滿足安全的需求，應積極引進相關定量的 NDT 檢測技術及評估儀器方可得到精確的數據，以供進一步之安全度評估，而定量 NDT

檢測及評估除了需要可靠的檢測設備外，更應培養及傳承專業人員。

- (三) 積極引進國外發展成熟之紅外線熱影像檢測技術、導波檢測技術、音洩檢測技術等線上檢測技術，以協助解決配合歲修無足夠時間全面檢查之問題，並應積極地投入人力進行先進技術之成熟落實性及獲得相關經驗之養成教育。畢竟每一種 NDT 技術都有其極限，完整的檢測通常需要使用數種不同的技術及方法，成功的非破壞檢測工作必須有詳細的事前規劃及有賴人員對儀器訊號判讀之正確性。
- (四) 由於先進檢測技術除了需要大量經費購買儀器及設備，更需要專業人員研究及操作建制，要達到技術成熟之所需時間較長。建議成立一專責單位整合先進檢測技術之人力及物力，避免資源分散及重覆浪費，並可輔導使用於本公司各單位，以確保各單位生產操作之安全性。
- (五) 經由實際案例解析顯示製程管線及設備腐蝕劣化洩漏和設計、組裝焊接熱處理不符合工業要求、裝配材料控管不當誤用、檢查和保養失當等，且常因多項不當因素存在導致骨牌效應，因而產生洩漏事件，因此對於複雜的管線及設備問題設計、操作、製造、檢查和維修等人員等相關人員應充分認知管線及設備安全完整性的要項，及實施風險評估。
- (六) 爲了讓 NDT 之結果更具有實質之效果，應可利用後續有效的 NDT 技術得到缺陷尺寸，並利用適用性評估 FFS (Fitness for Service)技術確保設備使用的安全性，及應用風險基準檢查 RBI (Risk BaseInspection)評估來鑑別出潛在劣化風險因子，進而及早加以排除改善或預防管控，同時可排定管線及設備檢查優先順序、檢查方法以及檢查週期，以期降低非計畫性停爐，降低減產損失、縮短大修停爐時間，提高設備利用率及安全運轉之目的。
- (七) 既有 NDT 其主要檢測對象物爲金屬組件，自從非金屬複合材料之應用日漸廣泛，NDT 應用於非金屬材料之檢測亦相對逐漸受到重視。由於非金屬材料特性與金屬間之差異相當大，也隨著科技日新月異，亦促成 NDT 許多新技術及新方法之快速發展，進而建議國內專家學者應儘早規劃及建立相關準則，以利業界參考運用。
- (八) 整個 NDT 業界雖已有 ISO-9712 要求檢測人員資格認證制度及檢測技術的標準化，可於國際組織間相互認可，惟 NDT 界應更積極建立相關檢測資料之可靠度及辨識度基準，與 NDT 執行過程中對人員之安全防護及管理機制，應是未來發展重點之一。

五、附錄

(一) 附件 1：論文集封面。

