

出國報告（出國類別：其他）

參加第 25 屆印度非破壞性檢測研討會 與技術設備展覽出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：張家豪 助理研究員

派赴國家：印度

出國期間：104 年 11 月 22 日~104 年 11 月 30 日

報告日期：104 年 12 月 24 日

摘要

第 25 屆印度非破壞性檢測研討會與展覽(25th National Seminar & International Exhibition on Non-destructive Evaluation, NDE-2015)於 104 年 11 月 26 日至 11 月 28 日假印度海德拉巴(Hyderabad)國際會議中心舉行，由印度非破壞性檢測協會(Indian Society for Non-destructive Testing, ISNT)主辦，大會共發表論文近 250 餘篇，海報約 60 篇，除研討會及四場專題演講外另舉辦相關儀器與技術展覽會，儀器與技術展覽會則有約 60 家廠商及相關單位參展，可算是亞洲地區非破壞性檢測的一場盛會。

協會特別在研討會舉辦前，於海德拉巴 Fortune Katriya 飯店安排兩天(104 年 11 月 24 日至 11 月 25 日)會前導覽，內容主軸分成三大部分，包含超音波、放射成像與其他非破壞性檢測技術原理及應用等議題，筆者主要參加數位放射成像應用於非破壞性檢測相關議程，該場次導覽主要由美國奇異公司工程師與研究單位學者擔任講者。

目 次

(頁碼)

摘 要	i
一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	31
四、建 議 事 項	34
五、附 錄	35

一、目的

希望藉由參加印度非破壞性檢測協會舉辦之學術研討會(NDE-2015)，瞭解放射影像應用於非破壞性檢測(Non-destructive Testing, NDT)相關最新技術與國際發展趨勢，以及相關技術在新興市場的技術發展與能量，為本所未來拓展至工業/非醫用領域提供參考研究方向，並參觀該會議之儀器與技術展覽會，瞭解國際市場上最新非破壞性檢測相關設備之發想與設計，掌握非破壞性檢測相關放射影像檢測儀器產業最新發展現況與趨勢，亦有助於所內非醫用輻射應用領域發展。參與協會所舉辦的數位放射影像議題相關會前導覽，學習國際大廠研究人員與相關研究機構專家學者之技術與經驗。最後，藉由與會蒐集國際放射影像相關非破壞性檢測產業及應用最新資料，提供計畫在未來發展方向的修訂參考。

二、過 程

本次出國公差赴印度參加第 25 屆印度非破壞性檢測研討會與展覽 (NDE-2015)，自 104 年 11 月 22 日出發，迄 11 月 30 日返國，共計 9 天，公差行程如表 1。

表 1 行程表

出席 2015 年印度非破壞性檢測協會 (ISNT) 舉辦之研討會暨技術展覽		
日期	地點	工作紀要
11/22(日)-11/23(一)	台北→印度海德拉巴	去程：泰國曼谷轉機
11/24(二)-11/25(三)	印度海德拉巴 Fortune Katriya 飯店	參加印度非破壞性檢測協會 (ISNT) 舉辦之會前導覽
11/26(四)-11/28(六)	印度海德拉巴國際會議中心	參加 2015 年印度非破壞性檢測協會 (ISNT) 舉辦之研討會暨技術展覽 (NDE-2015)
11/29(日)-11/30(一)	印度海德拉巴→台北	返程：新加坡轉機

(一) 會前導覽：

印度非破壞性檢測協會 (ISNT) 於 104 年 11 月 24 日至 25 日在海德拉巴 Fortune Katriya 飯店安排兩天會前導覽(場地如圖 1 及圖 2 所示)，議題主軸分成三大部分，包含超音波、放射成像與其他非破壞性檢測技術原理及應用等議題，筆者主要參加數位放射成像應用於非破壞性檢測相關議程，該場次導覽主要由美國奇異公司工程師與研究單位學者擔任講者，議程如圖 3 所示。此章節後續內容將節錄重點部分進行介紹。



圖 1 會前導覽舉辦飯店門口海報



圖 2 會前導覽舉辦飯店外觀



NDE 2015 - Preconference tutorial Digital Radio Graphy

24-25 November 2015, Course Conducted by: GE
Venue: Hotel Katriya, Rajbhavan Road

Day-1	24th November-2015	Presenter
9:45 - 10:45	New Trends in Industrial Radiography	Mr. SamareshChangdar, General Electric
10:45-11:00	Tea Break	
11:00-12:00	Digital Radiography & CT - Physics , Device & Systems	Mr. Samaresh Changdar, General Electric
12:00:13:00	Applications of Computed tomography & Radiation safety	Mr. VikashBehari, General Electric
13:00-14:00	Lunch Break	
14:00-15:00	Applications of Computed Tomography in Aerospace Application	Dr. Murulidhar, DRDL, Hyderabad
15:00-16:00	Digital Radiography for Automotive application	MrAnshuman Ray, Bajaj Auto
16:00-16:15	Tea Break	
16:15-17:15	Advances in Computed Tomography	Samaresh Changdar, General Electric
Day-2	25th November-2015	Presenter
9:00-10:00	High Energy Digital Radiography	Mr. BikasGhose, HEMRL, Pune
10:00-11:00	Image Processing techniques in Digital Radiography	Dr.Debasish Mishra, GE Global Research
11:00-11:15	Tea Break	
11:15-12:15	Standards of Digital Radiography	Dr.Debasish Mishra, GE Global Research
12:15-13:30	Lunch Break	
13:30 - 14:30	Applications of Digital Radiography in Energy Industries	Mr. Deepesh, BHEL Trichy
14:30-16:30	Question hour	

圖 3 會前導覽 - 數位放射成像議題議程表

1. 奇異公司(General Electric, GE)工程師 - Samaresh Changdar 先生

數位放射成像議題會前導覽由大會主席 P. Mohan 先生致詞後即邀請奇異公司(GE)工程師 Samaresh Changdar 先生進行第一場專題演講揭開序幕(圖 4)，主題為「工業放射成像的新趨勢」與「數位放射成像與電腦斷層的原理、設備與系統」，介紹不同造影技術，例如：電腦斷層(Computed Tomography, CT)、渦電流測試(Eddy-current test, ET)與超音波(Ultrasonic testing, UT)等，在工業非破壞性檢測領域應用上的優勢與限制，及工業放射成像中所使用的 X 光光源形式(如下)與待測物尺寸及影像解析度的關係：

- Nanofocus (奈米焦斑) / synchrotron (同步輻射光源)
- Microfocus (微焦斑)
- Macrofocus
- Linear accelerator (Linac)



圖 4 GE 工程師 Samaresh Changdar 先生專題演講

演講中也介紹了在 NDT 領域中的一些工業標準，例如文件編號 ASTM E2597 即為數位成像偵檢器製造特性的標準規範。最後展示了奇異公司在 NDT 領域所推出工業用 CT 成像造影儀的影像實例，並配合電腦輔助辨識軟體於重建影像中顯示鑄造物(casting)缺陷區。

2. 印度國防研究開發實驗室(Defence Research Development Laboratory, DRDL) - Murulidhar 博士

第二位邀請印度國防研究開發實驗室(DRDL)的 Murulidhar 博士針對電腦斷層在太空科技應用的議題進行專題演講(圖 5)，演講中從 CT 原理開始介紹，比較醫用 CT 與工業用 CT 應用的差異性，並介紹 CT 在工業應用的優勢(與其它造影技術相比)及限制(待測物尺寸、X 光能量、影像解析度及設備成本等方面)。也介紹工業用 CT 在其工作單位 DRDL 的相關應用，

包含：

- 火箭點火器品質檢測
- 火箭推進器品質檢測
- 逆向工程執行
- 航空用渦輪引擎缺陷檢查



圖 5 印度 DRDL 研究單位 Murulidhar 博士專題演講

3. 印度高能材料研究實驗室(High Energy Materials Research Laboratory, HEMRL) – Bikas Ghose 先生

第三位邀請印度高能材料研究實驗室(HEMRL)的 Bikas Ghose 先生針對高能放射成像技術進行專題演講(圖 6)，演講中首先介紹高能 X 光的優勢，包含能穿透較厚的待測物、能增加光源至待測物距離以減少物體成像後影像形變的程度、降低造影時間、配合專用寬能量接收範圍的影像接收器可對巨大且複雜的物體造影，並舉出高能放射造影的幾個應用範圍：

- 電力領域：渦輪機葉片檢測
- 國防領域：火箭推進器、導彈與彈藥的品質檢測
- 航空領域：航空機具檢測
- 汽車工業：汽車零件如駕駛桿、控制臂等檢測
- 核能工業：核廢料特性檢測



圖 6 印度 HEMRL 研究單位 Bikas Ghose 先生專題演講

並舉出在各領域應用實例，例如使用數位放射影像技術分析火箭推進器與一般傳統 X 光底片 (film) 放射造影技術相比，可提升敏感度並降低檢測時間約 80%，以及使用線型陣列式偵檢器 (Linear detector array, LDA) 配合直線加速器在工業用高能放射成像應用，該單位所使用的 LDA 相關規格如下：

- X 光能量範圍：160 kV~15 MV
- 影像像素尺寸：最小至 0.2 mm
- 影像偵檢器動態範圍：16 bits
- 影像偵檢器閃爍體材質：鎢酸鋇 (Cadmium tungstate, CdWO_4)

且 LDA 偵檢器優勢包含：

- 在高能 X 光應用上具有高轉換效率、動態範圍與靈敏度
- 使用線型偵檢器於 CT 應用上成本花費能較低
- 具有較長的偵檢器壽命
- 能相容應用於連續型與非連續型(脈衝式)X 光輸出光源

(二) 大會開幕式與專題演講

第 25 屆印度非破壞性檢測研討會與展覽(NDE-2015)於 104 年 11 月 26 日至 28 日於印度海德拉巴(Hyderabad)國際會議中心舉行(圖 7)，由印度非破壞性檢測協會(ISNT)主辦，報到處、開幕典禮入口處歡迎海報與會場如圖 8 至 10 所示，首日(26 日)為大會開幕式與專題演講，議程表如圖 11。本次 NDE-2015 會議由大會召集人 C. Phani Babu 博士發表演說召開序幕(圖 12)，隨後舉辦下屆印度非破壞性檢測研討會召集人就職典禮(圖 13)。



圖 7 NDE-2015 舉辦會場 - 海德拉巴國際會議中心



圖 8 NDE-2015 與會者報到處



圖 9 NDE-2015 開幕典禮入口處歡迎海報

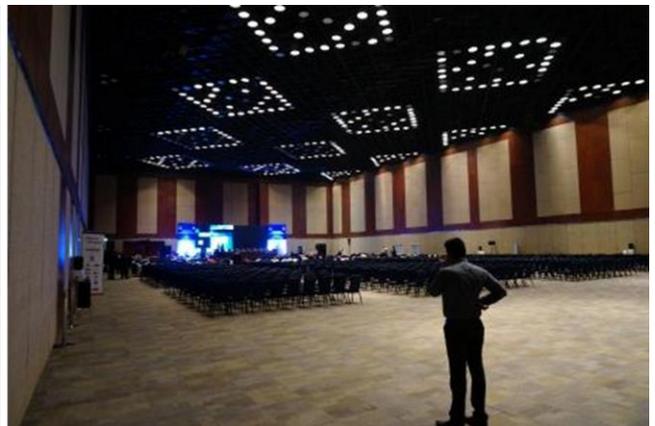


圖 10 NDE-2015 開幕典禮會場

 <p>Organized by Indian Society for ISNT Non-Destructive Testing Hyderabad Chapter</p>		
<p>25th National Seminar & International Exhibition on "NON DESTRUCTIVE EVALUATION" - 2015 at Hyderabad</p> <p>INAUGURAL DAY OF NDE 2015 - 26th NOVEMBER 2015</p>		
Inauguration, Memorial Lectures and Plenary talks		
Day 1: 26-Nov. 08:00 - 09:00 am	REGISTRATION OF DELEGATES	Registration Counters
Day 1: 26-Nov. 09:00 - 11:00 am	INAUGURATION OF NDE 2015	— HICC: HALL 3 —
Day 1: 26-Nov. 11:00 - 11:30 am	INAUGURATION OF EXHIBITION - NDE 2015	— HICC: HALL 4 —
Day 1: 26-Nov. 11:30 - 12:00 Noon	———— HIGH TEA ————	— HICC: HALL 1 & 2 —
Day 1: 26-Nov. 12:00 - 12:45 pm	Prof. A K Rao Memorial Lecture by Dr Dinesh Kumar Likhi, CMD, Midhani	— HICC: HALL 3 —
Day 1: 26-Nov. 12:45 - 01:30 pm	Shri V S Jain Memorial Lecture by Dr P Chellapandi, CMD, Bhavini	— HICC: HALL 3 —
Day 1: 26-Nov. 01:30 - 02:30 pm	———— LUNCH BREAK ————	— HICC: HALL 1 & 2 —
Day 1: 26-Nov. 02:30 - 05:00 pm	<p>PLENARY SESSION CHAIRIED BY Dr N Saibaba, C&CE NFC TALK -1 : Dr. Krishnan Balasubramanian, Professor, CNDE, IITM TALK -2 : Dr. MRM Babu, Director CAS TALK -3 : Dr.K Vijaya Raju, Group Director, ADA</p>	— HICC: HALL 3 —
Day 1: 26-Nov. 05:00 - 05:30 pm	———— TEA BREAK ————	— HICC: HALL 1 & 2 —
Day 1: 26-Nov. 05:30 - 07:00 pm	VISIT TO THE EXHIBITION	— HICC: HALL 3 —
Day 1: 26-Nov. 07:00 - 10:00 pm	CULTURAL PROGRAM AT HICC FOLLOWED BY HAPPY HOUR AND DINNER	— HICC: HALL 4 & FOYER —

圖 11 大會開幕式與專題演講議程表



圖 12 NDE-2015 會議召集人 C. Phani Babu 博士發表演說



圖 13 下屆 NDE 會議召集人就職典禮

1. 印度理工學院馬德拉斯分校(Indian Institute of Technology Madras, IITM)非破壞性檢測中心主任 - Krishnan Balasubramanian 教授

專題演講的部分首先邀請到印度理工學院馬德拉斯分校(IITM)非破壞性檢測中心的主任 Krishnan Balasubramanian 教授，針對印度國內目前在 NDT 領域所遭遇的挑戰與任務，並介紹其服務單位 IITM 在 NDT 領域的研究，並介紹與國內外各單位的合作關係，IITM 在管線檢測、航空器健康監視(health monitoring)、鐵路軌道檢測均有相關研究，並輸出 NDT 相關技術至韓國協助檢測儲槽庫(tank farm)。專題演講中也介紹印度自主開發的 X 光影像模擬軟體 SimXRAY，包含下列以下功能：

- 可輸入三維 CAD 數據的幾何資訊
- 軟體內建常用元素與化合物衰減函式庫
- 可調整光源與影像偵檢器組態
- 模擬重建影像具有 GPU 加速功能
- 可模擬電腦斷層重建影像
- 能模擬雙能量光源重建結果

2. 印度甘地原子能研究中心(Indira Gandhi Centre for Atomic Research, IGCAR)副主任 - B. Venkatraman 博士

第二場專題演講邀請到印度甘地原子能研究中心(IGCAR)副主任 B. Venkatraman 博士，針對數位放射影像與熱顯影造影的發展與未來趨勢進行介紹，首先介紹其服務單位 IGCAR 由 1970 年代至今在放射成像領域的研究包含：

- 傳統放射造影(包含 X 光與加馬射源)
- 微焦斑放射造影
- 數位放射造影(包含 DR, CR 與傳統底片數位化)
- 電腦斷層
- 回散射(back-scatter)放射造影

熱顯影造影的部分則介紹在乳癌前期偵測的應用，希望藉由這種非侵入式(non-invasive)的方法提高病患的預後程度，由實際造影結果可觀察到非健康的乳房組織，例如纖維性囊腫(fibrocystic)、乳管癌(ductal carcinoma)與發炎(inflammation)的熱顯影影像皆顯示較高的溫度，與一般正常乳房組織較低溫度不同。

(三) 技術論文發表：

技術論文發表簡報於 11 月 27 日與 28 日與大會開幕式於相同地點舉行，並於國際會議中心的 5 個不同會議室依照主題分類同時進行，兩日的議程表分別如圖 14 與圖 15 所示，簡報會場如圖 16 所示，後續將針對放射成像技術相關的論文進行摘錄介紹。

Organized by
Indian Society for
ISNT
Non-Destructive Testing
Hyderabad Chapter

25th National Seminar & International Exhibition on
"NON DESTRUCTIVE EVALUATION" - 2015 at HYDERABAD

DAY 2 OF THE CONFERENCE: TECHNICAL SESSIONS
Theme: NDE FOR MAKE IN INDIA

PARALLEL TECHNICAL SESSIONS SCHEDULE at NDE-2015 : 27TH NOVEMBER 2015

MORNING TECHNICAL SESSIONS FROM: 09:30 - 11:00 AM	SESSION 1A ROOM: MRG 0.2 NDE for Condition Monitoring and In-service Inspection VIEW DETAILS	SESSION 1B ROOM: MRG 0.3 Advances in RT-Computed Tomography .. VIEW DETAILS	SESSION 1C ROOM: MRG 0.4 Applications of Ultrasonics in NDE .. VIEW DETAILS	SESSION 1D ROOM: MRG 0.5 NDE- Process Plants and Power Industry .. VIEW DETAILS	SESSION 1E ROOM: MRG 0.6 Statistics and Reliability of NDE .. VIEW DETAILS	
	----- TEA BREAK 11:00 TO 11:30 AM -----					
	MORNING TECHNICAL SESSIONS-2 FROM: 11:30 - 01:30 PM	SESSION 2A ROOM: MRG 0.2 Ultrasonic Testing (UT) -General and Advanced .. VIEW DETAILS	SESSION 2B ROOM: MRG 0.3 NDE in Nuclear Fuel Fabrication .. VIEW DETAILS	SESSION 2C ROOM: MRG 0.4 NDE using IR- Thermography .. VIEW DETAILS	SESSION 2D ROOM: MRG 0.5 NDE for Microstructural Characterization I .. VIEW DETAILS	SESSION 2E ROOM: MRG 0.6 Radiography Applications .. VIEW DETAILS
		----- LUNCH BREAK 1:30 TO 02:30 PM: MR1.01-1.06 -----				
		AFTERNOON TECHNICAL SESSIONS FROM: 02:30 - 04:30 PM	SESSION 3A ROOM: MRG 0.2 Eddy Current Inspection .. VIEW DETAILS	SESSION 3B ROOM: MRG 0.3 Application of IR Thermography .. VIEW DETAILS	SESSION 3C ROOM: MRG 0.4 NDE in Aerospace: Non-Metallic Components .. VIEW DETAILS	SESSION 3D ROOM: MRG 0.5 Phased Array Ultrasonic Testing .. VIEW DETAILS
----- TEA BREAK 4:15 TO 04:30 PM -----						
04:30 - 06:30 PM : Visit to Posters (for evaluation) & AGM: MRG.5 & 0.6						
Posters Presented at NDE2015						
06:45 PM: TRANSPORTATION TO CULTURAL VENUE BY BUS (DEPARTURE TIME)						
07:00 - 08:00 PM: CULTURAL PROGRAM AT ROCK HEIGHTS, SHILPARAMAM						
08:00 - 10:00 PM: HAPPY HOURS AND DINNER						

圖 14 11 月 27 日技術論文發表簡報議程表

PARALLEL TECHNICAL SESSIONS SCHEDULE at NDE-2015 : 28TH NOVEMBER 2015

<p>MORNING TECHNICAL SESSIONS</p> <p>FROM: 09:30 - 11:00 AM</p>	<p>SESSION 4A ROOM: MRG 0.2 Signal and Image Processing in NDE .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 4B ROOM: MRG 0.3 Radiography-Special Applications .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 4C ROOM: MRG 0.4 Appln of NDE in Aerospace-Metallic Components .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 4D ROOM: MRG 0.5 Applications of NDE in Industry .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 4E ROOM: MRG 0.6 Acoustic Emission .. VIEW DETAILS</p>		
	----- TEA BREAK 11:00 TO 11:30 AM -----						
	<p>MORNING TECHNICAL SESSIONS-2</p> <p>FROM: 11:30 - 01:30 PM</p>	<p>SESSION 5A ROOM: MRG 0.2 Application of TOFD & Guided Wave techniques .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 5B ROOM: MRG 0.3 NDE in Nuclear Components & Structures .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 5C ROOM: MRG 0.4 Application of NDE for Residual Stress Estimation .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 5D ROOM: MRG 0.5 Modeling and Simulation in NDE-I .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 5E ROOM: MRG 0.6 Advances in NDE-Sensors and Automation .. VIEW DETAILS</p>	
		----- LUNCH BREAK 1:30 TO 02:30 PM: Halls 1 & 2 -----					
		<p>AFTERNOON TECHNICAL SESSIONS</p> <p>FROM: 02:30 - 03:45 PM</p>	<p>SESSION 6A ROOM: MRG 0.2 Upcoming NDE Techniques .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 6B ROOM: MRG 0.3 Defect Detection in NDE .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 6C ROOM: MRG 0.4 NDE for Microstructural Characterization-II .. VIEW DETAILS</p>	<p>SESSION 6D ROOM: MRG 0.5 NDE applications in Nuclear Industry .. VIEW DETAILS</p>	
			----- TEA BREAK 3:45 TO 04:00 PM -----				
04:00 - 05:00 PM : Panel discussions & Valedictory - Hall 1&2							

圖 15 11 月 28 日技術論文發表簡報議程表



圖 16 NDE-2015 技術論文發表簡報會場

1. 印度國防研究開發實驗室(DRDL) – Murulidhar 博士

Murulidhar 博士針對電腦斷層在延遲點火器(delay pyro)故障分析的議題進行技術論文簡報，延遲點火器為航太任務中單次使用的關鍵組件，如果功能失效可能對任務造成嚴重影響，此研究的目的是使用電腦斷層造影儀去分析未使用過與使用過(失效)的延遲點火器內部結構，並與標準件進行比對，一般 X 光投影影像顯示未使用、使用與失效的延遲點火器內部結構影像並無明顯差異，內部結構在投影方向皆重疊；而 CT 造影重建結果可以與 CAD 三維設計圖進行比對，分析內部導線連接是否正常，將是影響點火成功與否的關鍵。結論為一般傳統 NDT 方法(一般傳統 X 光投影影像)無法確認內部導線連接情形；但 CT 影像則可清楚顯示，因此在航太工業中延遲點火器故障分析扮演不可或缺的角色。

2. 印度甘地原子能研究中心(IGCAR)非破壞性檢測部門 – K. Arunmuthu 先生

K. Arunmuthu 先生針對電腦斷層應用在鑄造物因疲勞造成缺陷的檢測議題進行技術論文簡報，講者首先介紹應用在 NDT 上的各種檢測技術與相互關係，放射成像技術屬於可觀察到待測物內部結構的量測方法，與一般超音波(動態)、紅外線與熱顯影(表面)等量測方法不同，而 CT 造影技術又將原本二維的傳統放射投影影像提升至三維的階段。

IGCAR 實驗室也有自主開發 NDT 用電腦斷層檢測系統(圖 17)，包含 7 軸機構運動，使用最高電壓 450 kV 的工業用 X 光管(廠牌/型號：Balteau *BALTOGRAPHTSD450* 系列)，數位影像偵檢器使用平板式偵檢器(Flat panel detector, FPD)，偵檢器相關規格如下(廠牌/型號：Thales/*FlashScan FS 35*)：

- Number of pixels: 2240 × 3200
- Spatial resolution max: 4 lp/mm

- Typical energy range: 25 to 160 kV
- Digital output: 14-bit
- Dimensions: 50 × 36 × 6.5 cm
- Pixel Size: 127 μm

特別需要注意的是此型號 FPD 最高接收光子能量為 160 kV，但 IGCAR 所使用的 X 光管最高能量超過此數值，因此當使用高於 160 kV 管電壓造影時，勢必須使用其他成像偵檢器。此造影系統的影像放大倍率為 5 倍($SOD/ODD=1100/220=5$)，相關 X 光曝光參數與 CT 造影參數如圖 18 所示。



圖 17 IGCAR 實驗室自主建立 NDT 用電腦斷層檢測系統

Radiography Exposure and CT Parameters

Radiographic parameters (450 kV Balteau constant potential)		CT parameters		
		Conditions	*Motor core	Fatigue Specimen
Focal spot (mm)	1.2 x 1.2	No. of projections obtained	180	180
kV	140kV, 280 kV	X Start, X End	678, 912	1104, 1422
mA	1 mA	Y Start, Y End	1200, 1326	1210, 1580
SOD(mm)	1100	Zero pad data to slice	1024	1024
ODD(mm)	220	Center of projection data	120	156
Flat Panel (Thales Flash scan FS35)		Cross section size required	256	256
Material	Gadolinium oxysulfide (Gd ₂ O ₂ S).	Steps of angular increments	1	1
pixel size	127 x 127 microns	Zero pad FFT data to	1024	1024

圖 18 IGCAR 實驗室自主建立 NDT 用電腦斷層檢測系統的 X 光曝光參數與 CT 造影參數

造影結果顯示一般 X 光投影影像較難觀察到鑄造物中較小缺陷處；但是由 CT 影像並配合一維剖面圖(profile)分析可以清楚觀察到缺陷位置及尺寸，並可以利用 CT 數據配合影像處理技術重建出三維構造，由結果顯示，IGCAR 實驗室自主建立 NDT 用電腦斷層檢測系統可順利檢測出鑄造物內微小缺陷區域(~2 mm)，該實驗室在軟體方面也成功開發下列校正演算法，包含射束硬化(beam hardening)、環形假影(ring artifacts)及三維視覺化，重建影像幾何準確度(accuracy)達到 95%。

3. 印度理工學院馬德拉斯分校(IITM)土木工程學系 - Murugan M. 博士生

Murugan M. 先生針對電腦斷層應用在水泥孔洞結構特性評估的議題進行技術論文簡報，講者首先介紹了水泥這種材料廣泛應用在各種建設上，包含摩天大樓、放射性廢棄物處置設施、水壩、地底隧道、高速公路與橋樑等等，因此水泥結構的優劣將嚴重影響到建設的品質，而決定水泥材質的耐久性的因素則是其開放性孔洞的結構，水中的氯離子(CL-)會滲透水泥材質內的孔洞侵蝕鋼筋(Rebar)，進而使建築結構強度降低。

此研究希望藉由電腦斷層造影分析水泥中孔洞結構的特性，實驗添加不同奈米物質(nanomaterials)使具有多孔性(porosity)的水泥達到理想的滲透係數(hydraulic conductivity)，也就是降低其多孔性程度。實驗所用的 CT 造影設備使用 GE 的工業 CT(型號：phoenix v/tome/xs)，造影管電壓為 120 kV、管電流為 70 μA、曝光時間為 4 ms。實驗結果包含水泥添加不同奈米物質的 CT 造影三維重建影像，測試添加的奈米物質包含 rGO、n-Al₂O₃ 及 n-SiO₂，並利用影像分析軟體 Pro Premier 9.1 自動量化統計分析水泥 CT 斷層影像孔洞尺寸分布情形，實驗結果顯示添加這 3 種奈米物質與控制組相比均能夠降低水泥中的多孔性，特別是 rGO 這種材質的效果優於其他添加材質。

4. 印度太空研究組織 (Indian Space Research Organization, ISRO) 研究人員 - B.Karthikeyan 先生

B.Karthikeyan 先生針對非破壞性檢測運用在射頻連接器(RF connector)品質評估議題進行技術論文簡報，射頻連接器不管在通信及訊號傳遞上使用非常的頻繁，因此在雷達的訊號傳遞與接收上扮演重要的腳色，連接器公母接頭是否有正確地連接將會影響訊號傳送接收品質好壞。

此研究使用一般 X 光投影影像評估射頻連接器公母接頭連接情形，實驗結果包含尺寸為 2.92 mm 公接頭造影影像，與射頻連接器組合(assembly)造影影像，並以平行射頻連接器組合方向取一維剖面曲線圖分析，曲線有一山谷區，其範圍約為 100 μm ，可利用此方法評估連接器間導線距離，將原本封裝在連接器內部的導線結構顯現出來，這樣的放射造影檢查方法能夠降低已安裝連接器需再檢查或更換零組件的頻率。

5. GE 公司工程師 - Shyamsunder Mandayam 先生

Shyamsunder Mandayam 先生針對非破壞性檢測感測器的進展、挑戰及解決方案進行簡報，講者以市場統計資料切入主題，首先是 NDT 的應用領域的統計資料，佔最大比例的是材質成分組成分析(佔 26.9%)，其次是侵蝕的檢測(佔 23.1%)，接著分別是焊接處檢測(16.7%)、渦輪葉片檢測(14%)、熱交換管檢測(9.1%)、管道線檢測(7%)與其他(3.2%)，由這樣的統計結果可以發現，NDT 大部分的應用領域都在場內或線上的檢測，佔了約 70%，代表檢測器最好具備輕薄短小的特色，才能方便操作者在場內使用。

另一個統計資料則是根據使用者的意見回饋，希望 NDT 設備在哪種功能或技術上能有進一步突破，約有 38.8%的使用者希望 NDT 設備軟體(包含操作介面、數據處理等)能有所改善，約有 24.7%使用者希望設備自動化功能能更強大，約有 19.4%的使用者希望 NDT 設備最根本感測器的科技或技術能有所突破，後續將會針對感測器的部分另行介紹。最後一組統計資料為使用者認為 NDT 設備具有無線通訊功能的重要性，有超過 95%的使用者認為是重要或是有的話更好，只有 3.5%的使用者認為不重要，此統計結果顯示 NDT 設備市場趨勢將走向無線通訊的時代。

統計結果也指出，使用者希望 NDT 檢測設備的感測器在下列各方面能有所突破：

- 新材料的開發
- 大尺寸
- 能用在難接近或到達的區域
- 能在受限的空間中使用
- 能不間斷地連續偵測
- 操作簡單方便
- 能用在危險嚴苛環境中(如：高溫、高壓、潮濕與輻射環境)
- 具有自動化功能

講者也提到具潛力的 NDT 技術或感測器，包含熱能、聲波、磁性與電感測器(技術)等，可惜並無提到放射線相關技術。另外講者在最後也介紹了 GE 所推出的工業用 X 光成像偵檢器，

具有可攜式與無線傳輸的功能，經查詢後此型號為 DXR250C-W，偵檢器相關規格如圖 19 所示，較特別的是此偵檢器具有特殊的封裝，能在工業用途上保護偵檢器內閃爍晶體及內部電路，且使用的閃爍晶體為硫酸化釷(Gadolinium oxysulfide, GOS)，與一般醫用常見的碘化銫 (Cesiumiodide, CsI)不同，其操作環境溫度範圍也很廣泛(-20 度~50 度)，但從相關資料並沒有看到其適用的能量範圍。

Detector		DXR250C-W	DXR250U-W
Flat Panel Type	Amorphous silicon		
Scintillator Material	Gadolinium oxysulfide (GOS)		
Active Area (approx.)	200 mm x 200 mm	405 mm x 405 mm	
Image Format	Full: 1024 x 1024 / Binned: 512 x 512 / center Region of Interest: 512 x 512	Full: 2048 x 2048	
Pixel Pitch	200 µm		
A/D Conversion	14 bits		
Min. Exposure Time	130 ms		
Max. Exposure Time	150 sec		
Interface	Gigabit Ethernet (separate line) WIFI 802.11g (adhoc / Access Point)	100 Mbit Ethernet combined with battery plug WIFI 802.11g (adhoc / Access Point)	
Dynamic Range	10,000 : 1		
Dimensions	408 mm x 257 mm x 25 mm (16.06" x 10.12" x 0.98") (30 mm in the battery bay area)	600 mm x 460 mm x 26 mm (23.62" x 18.11" x 1.02") (28 mm in the battery bay area)	
Weight	3.5 kg (7 lb) (including battery, without hard-shell)	5 kg (11 lb) (including battery, without hard-shell)	
Operating Temperature	-20°C to 50°C (reduced dynamic range at higher temperatures in this range)		
Storage Temperature	-40°C to 70°C (-40°F to 158°F)		
Operating Humidity	RH, 10-90% non-condensing		

Power Supply	
Voltage	Input: 100-240 V, 50-60 Hz Output: 12 V DC
Dimensions	105 x 60 x 240 mm (4.13" x 2.36" x 9.45")
Weight	0.7 kg (25.7 ounces)
Tether	Detachable, length 3 m (10 ft)

Battery Charger	
Type	Two bay, level-3, stand alone battery charger compliant with Smart Battery System (SBSBus)
Power Supply	Input 30 V DC, including wide-range power supply
Features	Sequential charging Battery calibration in left bay LED status indicator
Dimensions / Weight	175 x 124 x 58 mm (6.89" x 4.89" x 2.30") 440 g (15.5 ounces)

Battery	
Type	Lithium Ion
Rating	11.1 V, 1.85 Ah, 21 Wh
Features	Charging status indicator

Portable Wireless Router / Access Point	
Type	150 Mbps portable battery / USB powered wireless router
Wireless Features	IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n 2.4 - 2.4835 GHz Supports 64/128 bit WEP, WPA-PSK/WPA2-PSK, Wireless MAC Filtering, Enable/Disable, SSID Broadcast
Power Supply	Internal 2000 mAh rechargeable battery, 5 V DC / 1.0 A external power adapter, Micro USB
Dimensions / Weight	100 x 62 x 16 mm (3.9" x 2.4" x 0.6") 94 g (3.3 ounces)

* Subject to change without further notice

圖 19 GE DXR250C-W 偵檢器相關規格

6. 印度高能材料研究實驗室(HEMRL) - Bikash Ghose 先生

Bikash Ghose 先生針對管狀固體火箭推進器的數位放射影像缺陷自動辨識之研究相關議題進行簡報，講者首先簡介管狀固體火箭推進器的構造，其材質類似水泥，火箭燃料則置於圖中內部空腔中，火箭推進器在結構上常見的缺陷有：

- 空腔
- 裂痕
- 集結成塊
- 多孔性
- 表層剝落
- 黏合不全

在管狀固體火箭推進器的構造的檢查應用上，使用數位放射成像與一般傳統底片相比，單張影像的曝光時間能由 5~7 分鐘縮短至 1~2 秒；待測物擺位操作上由 1~2 分鐘縮短至 10~30 秒；每小時的檢查張數可由約 8 張增加至約 110 張，數位成像在各方面均優於傳統底片，並配合自動缺陷辨識(Automatic Defect Recognition, ADR)演算法，能大量減少人力成本。ADR 演算法包含以下幾個部分的執行，首先是降低雜訊，可以使用數位濾波器對原始影像進行處理，使影像整體雜訊下降，第二步是缺陷邊緣偵測，常用的方法有 Canny edge 及 Prewitt 等演算法，利用這些方法將影像中缺陷處邊緣找出，給予與正常區域不同的標示，最後是與參考影像比對，參考影像的造影條件必須與實驗組相同，減少實驗的誤差，如此可以利用這樣自動化的過程辨識出缺陷所在區域，管狀固體火箭推進器造影結果經 ADR 演算法處理後的二值影像可以清楚的看出缺陷所在處。

(四) 儀器與技術展覽會：

此次的展覽會主要有來自印度、美國、德國、日本與中國等國家之儀器廠商與非破壞性檢測協會參展，共有約 60 個單位參展，圖 20 為展場入口處海報，圖 21 為展場攤位圖，此章節將分成兩部分介紹，首先是 X 光造影系統廠商攤位，其次是零組件廠商攤位介紹。

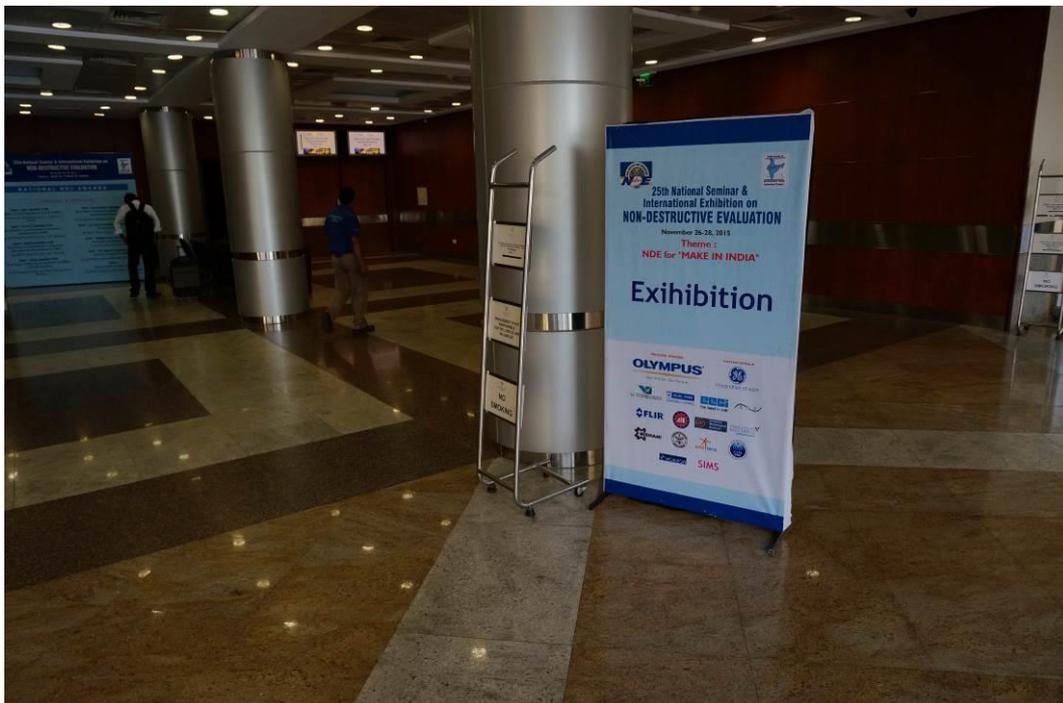


圖 20 儀器與技術展覽會入口處海報



圖 21 儀器與技術展覽會攤位圖

1. X 光造影系統廠商攤位：

設備與技術展覽會場中最大的兩個攤位分別為奧林巴斯(Olympus)與奇異(GE)公司，攤位分別如圖 22 與圖 23 所示，Olympus 在 NDT 設備產品線主要集中在光學顯微鏡、超音波(UT)、內視鏡、渦電流測試(ET)與 X-射線螢光分析(X-ray fluorescence, XRF)等技術；而 GE 則集中在放射成像(RT)、渦電流測試(ET)、X-射線螢光分析(XRF)、內視鏡與超音波(UT)等技術。



圖 22 設備與技術展覽會場中 Olympus 攤位



圖 23 設備與技術展覽會場中 GE 攤位

(1) 美商奇異(GE)公司

GE 放射成像相關產品如圖 24 所示，包含了傳統底片、數位放射成像偵檢器、X 光源、二維成像系統、X 光繞射成像、三維 CT、三維量測技術與電子類產品檢驗等設備，最後三項的技術/應用為 GE phoenix/x-ray 產品線所包含，而 GE phoenix/x-ray 產品線主要包含 nanotom 系列產品(主要使用奈米焦斑尺寸 X 光源)與 v/tome/x 系列產品(主要使用微焦斑與小焦斑 X 光源)，設備外觀如圖 25 所示。nanotom 系列的 X 光 CT 主要應用於較小尺寸 (邊長<30 公分；重量<5 公斤)樣品的檢測，由於使用奈米尺寸焦斑的光源(180 kV)與高解析度的成像偵檢器(像素尺寸：50~100µm)，掃描時配合偵檢器移動使得 CT 重建影像解析度約可達到 0.3~0.5 µm。

The MCS Radiography Product Range

<p>Film & Equipment</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Complete range of Agfa X-ray films • State-of-the-art processing equipment • Film Scanning 	<p>Digital Radiography</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Computed Radiography • Reusable Phosphor plates • Digital Detector Arrays • Image processing and storage software 	<p>X-ray Sources</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Portable and mobile X-ray systems • Stationary systems • Micro- and nanofocus tubes and generators 	<p>2D Systems</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Stationary manual and automated digital X-ray inspection systems • Fully automated defect recognition software
<p>3D CT</p>  <ul style="list-style-type: none"> • 3D industrial failure analysis with CT • 3D CT systems for materials research, bio- and geosciences 	<p>3D Metrology</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Reproducible 3D coordinate measurement with X-ray CT • Fully automated CT data acquisition and volume processing 	<p>Electronics Inspection</p>  <ul style="list-style-type: none"> • 2D micro- and nanofocus X-ray • Software for high resolution electronics inspection • CAD-based programming 	<p>X-ray Diffraction</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Quantitative and qualitative phase analysis, structure and tension measurement • Single crystal materials orientation analysis

CT
phoenix|x-ray

6 /
GE /

圖 24 GE 放射成像相關產品

X-ray CT systems phoenix|x-ray product line



圖 25 GE phoenix|x-ray 產品線設備外觀

而 *vltomelx* 系列的設備則主要使用微焦斑與小焦斑尺寸的 X 光源，部分可選配奈米尺寸焦斑，X 光源管電壓與輸出功率也較 *nanotom* 系列來得高(240~450 kV)，不同型號設備能檢測物體最大尺寸介於 10~100 公斤，檢測物直徑介於 26~80 公分、高度 40~100 公分之間，適用於尺寸較大且 *nanotom* 系列無法檢測的物品，掃描運動機構約有 6~7 軸，部分型號影像偵檢器可替換成線型陣列式偵檢器(LDA)，相關規格比較如圖 26。

型號				
	vltomelx s	vltomelx m240/300	vltomelx L240/300	vltomelx L450
掃描方式	3DCT	3DCT	3DCT/2DCT	3DCT/2DCT
X光管型式	240 kV microfocus	240/300 kV microfocus	240/300 kV microfocus	240/300 kV minifocus
影像偵檢器	DXR250RT (200 mm) ²	DXR250RT (200 mm) ²	DXR250 (400 mm) ²	DXR250 (400 mm) ²
掃描範圍	φ 260 mm×H400 mm	φ 300 mm×H400 mm	φ 500 mm×H600 mm	φ 800 mm×H1000 mm
可造影之待測物重量	10 kg	50 kg	50 kg	100 kg
X光管型式	6 (X, Y, Z, XD, R, T)	6 (X, Y, Z, XD, R, T)	7 (X, YT, YD, Z, XD, R, T)	7 (X, YT, YD, Z, XD, R, T)
造影儀尺寸與重量	2170×1690×1500 mm ³ (2.9 t)	2620×2100×2180 mm ³ (5.6 t)	4100×2600×2900 mm ³ (16.5 t)	6500×340×3300 mm ³ (65 t)

圖 26 *vltomelx* 系列設備相關規格比較

(2) 德商 YXLON 公司

會場中德國廠商 YXLON 也有展示工業用 CT 造影儀，該廠商為飛利浦(Philips)工業 X 光造影部門技術建立的公司，現場海報展示的 CT 造影儀型號為 *FF20 CT*，造影儀與操作台實照如圖 27。



圖 27 YXLON *FF20 CT* 造影儀與操作台實照

YXLON *FF20 CT* 最大管電壓為 160 kV，最大功率為 64 W，CT 重建影像解析度約可達到 0.4 μm ，可檢查待測物最大直徑為 15 公分、高度 30 公分，最大量測尺寸可達 20 公斤，影像偵檢器有效接收面積約為 15 cm^2 ，像素尺寸為 127 μm ，光源與偵檢器可垂直地面升降進行螺旋式錐狀電腦斷層造影(Helical cone-beam CT)。

(3) 美商 VJ TECHNOLOGIES

會場中美國廠商 VJ TECHNOLOGIES 也有展示工業用 CT 相關儀器資料，其中有 C-arm CT，型號為 *VJT C160/225*，外觀如圖 28 所示，內部 C-arm 造影機構如圖 29，可提供一般 X 光投影影像(DR)、一般軸向 CT、螺旋式 CT 與斷層合成(Tomosynthesis)造影模式，可檢查待測物最大直徑為 60 公分、高度 90 公分，最大量測尺寸可達 60 公斤，光源最大管電壓可達到 160 V 或 225 V，偵檢器可選用 8 吋或 16 吋 FPD，光源至偵檢器距離為 1 公尺，C-arm 最大傾斜角為 +/-30 度。



圖 28 型號 VJT C160/225 X 光造影儀外觀



圖 29 型號 VJT C160/225 X 光造影儀內部 C-arm 機構

(4) 印度本土廠商 MEDEQUIP

會場中唯一展示 X 光造影系統的印度本土廠商為 MEDEQUIP(圖 30)，攤位中擺放了該公司研發的工業用 X 光造影系統實機，提供 5 軸運動機構(圖 31)，包含了光源升降與水平移動、偵檢器升降與水平移動與待測物軸向移動，並可依需求客製化造影機構。但此造影系統因運動精度的關係目前只能提供一般 X 光投影影像，尚無法提供 CT 造影，而在系統關鍵組件的部分，光源(Varian)、高壓產生器(Spellman)、偵檢器(PerkinElmer)、影像顯示處理軟體(Volume Graphics)等均與其他單位合作(圖 32)，MEDEQUIP 的任務類似系統商設計一造影系統將各部件組合起來。



圖 30 展覽會場唯一展示 X 光造影系統的印度本土廠商 MEDEQUIP 攤位



圖 31 印度本土廠商 MEDEQUIP 研發的工業用 X 光造影系統

Our Major Customers

Defence, Aerospace, Nuclear, Space & Heavy Engineering

20+ Installations in 4 years

Our OEM Partners

MEDEQUIP

K.K.House, Plot # B-35/1, Industrial Estate, Sanathnagar, Hyderabad-500 018. Phone:040-2381 1122 Fax: 040-2381 1177
 E-mail : info@medequip.in. Website : www.medequip.in

圖 32 印度本土廠商 MEDEQUIP 開發之 X 光造影系統軟硬體合作關係

2. 零組件廠商攤位：

在展覽會中零組件廠商現場放射成像相關展示的產品包含：

- **工業用可攜式 X 光光源：**整合 X 光管與高壓產生器，如圖 33，重量約為 30 公斤，可直接手提至現場進行檢測。
- **CR 影像板(images plates, IP)掃描器：**設備外觀如圖 34 所示，其原理是利用微小尺寸的雷射光源均速移動對 IP 板進行掃描，激發出的藍色可見光被自動跟蹤的光電接收器收集，再利用類比數位轉換器轉換成數位訊號儲存。
- **造影用加馬射線同位素：**例如 Co-60、Ir-192 與 Se-75 放射性同位素等，如圖 35。
- **數位放射成像偵檢器：**相關廠商包含 Varian 與 PerkinElmer，詳細內容後述。
- **X 光光源與高壓產生器：**相關廠商包含 Varian 與 VJ X-ray，詳細內容後述。



圖 33 展覽會中零組件廠商現場放射成像相關展示產品 - 工業用可攜式 X 光光源



圖 34 展覽會中零組件廠商現場放射成像相關展示產品 - CR 影像板(IP)掃描器



圖 35 展覽會中零組件廠商現場放射成像相關展示產品 - 造影用加馬射線同位素

(1) 數位放射成像偵檢器

數位放射成像偵檢器的選擇，除一般根據有效偵檢區域與像素尺寸外，也必須參考未來應用選擇合適偵檢器，例如：一般 NDT 檢查、移動式或安檢用、低劑量或高劑量 NDT；依光源能量，如使用加速器為光源，則需選擇適用於高能量範圍的影像偵檢器；依畫面更新率 (frame rate)，如有高速的造影需求則需選擇畫面更新率高的偵檢器；依閃爍晶體材質，常見工業用數位間接式 (in-direct) 放射影像偵檢器閃爍晶體材質大多以碘化銫 (CsI)、DRZ standard、DRZ plus 與 DRZ high 等材料為主，除碘化銫較常見外，其他 3 種 DRZ 系列的閃爍晶體在相同測試條件下分別具有以下特性：

- DRZ standard：影像具有較佳空間解析度(resolution)

- DRZ plus：影像的空間解析度與明亮度(brightness)取得平衡
- DRZ high：影像具有較佳的明亮度

RZ 系列的閃爍晶體的成分組成、X 光衰減能力等參數可參考圖 36，由比較表格即可發現調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)數值較高者具有較佳的解析度的，X 光衰減能力較強者則具有較佳的影像明亮度。

PHOSPHOR PANEL FOR DIGITAL RADIOGRAPHY							
Name	Composition		X-Ray Attenuation	Brightness	Relative Brightness	MTF	
						@ 1 lp/mm	@ 2 lp/mm
DRZ-Std	Protective Layer	PET 6 μ m	42%	7.1	145%	0.82 (106)	0.49 (114)
	Phosphor Layer	140 μ m, 68mg/cm ²					
	Supporting Layer	Plastic Base 250 μ m					
	Total	406 μ m					
DRZ-Plus	Protective Layer	PET 6 μ m	53%	8.5	173%	0.72 (93)	0.36 (83)
	Phosphor Layer	208 μ m, 100mg/cm ²					
	Supporting Layer	Plastic Base 250 μ m					
	Total	464 μ m					
DRZ-High	Protective Layer	PET 9 μ m	66%	11.2	229%	0.44 (57)	0.16 (37)
	Phosphor Layer	310 μ m, 145mg/cm ²					
	Supporting Layer	Plastic Base 188 μ m					
	Total	507 μ m					

圖 36 RZ 系列的閃爍晶體的成分組成、X 光衰減能力等參數

會場中所取得的 Varian 與 PerkinElmer 數位放射成像偵檢器產品型錄如圖 37 及圖 38，依照上述偵檢器相關基礎知識即可選擇合適的產品。

VARIAN INDUSTRIAL FLAT PANEL DETECTORS

IMAGING WITH
VARIAN



	1308DXT	1313DX	1313DXT	1508DXT	1515DXTi	2520DXi	2530C
Applications	Microfocus General NDT	Low Dose (portable, security)					
Size (cm)	13 x 8	13 x 13	13 x 13	15 x 8	15 x 15	25 x 20	25 x 30
Pixel Matrix	1024 x 640	1024 x 1024	1024 x 1024	1152 x 640	1152 x 1152	1536 x 1920	1792 x 2176
Pixel Size	127	127	127	127	127	127	139
Energy Range	40-225 kVp	40-160 kVp					
Frame Rate	45 fps (1 x 1) 85 fps (2 x 2)	30 fps (1 x 1) 60 fps (2 x 2)	30 fps (1 x 1) 60 fps (2 x 2)	45 fps (1 x 1) 85 fps (2 x 2)	28 fps (1 x 1) 56 fps (2 x 2)	12.5 fps (1 x 1) 30 fps (2 x 2)	1 fps (1 x 1)
A/D Converter	16 bit	16 bit					
Output	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet					
Scintillator	CsI, DRZ+, DRZ Standard	DRZ+					



	2530HE	3024i	3030DX	4030D	4030E
Applications	Microfocus General NDT High Energy	NDT Microfocus NDT General	Microfocus General NDT	Microfocus General NDT	Microfocus General NDT
Size (cm)	25 x 30	30 x 24	30 x 30	40 x 30	40 x 30
Pixel Matrix	1792 x 2176	3584 x 2816	1526 x 1526	2048 x 1536	2304 x 3200
Pixel Size	139	83	194	194	127
Energy Range	20 kv-16 MV	20-225 kVp	40-225 kVp	40-150 kVp	40-225 kVp
Frame Rate	9 fps (1 x 1) 30 fps (2 x 2)	2 fps (1 x 1)	15 fps (1 x 1) 30 fps (2 x 2)	7.5 fps (1 x 1) 30 fps (2 x 2)	3 fps (1 x 1) 7 fps (2 x 2)
A/D Converter	16 bit	14 bit	16 bit	14 bit	14 bit
Output	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
Scintillator	CsI, DRZ+, DRZ Standard	CsI	CsI, DRZ+	CsI	DRZ+

圖 37 Varian 數位放射成像偵檢器產品型錄

Basic Specifications and Potential Applications

Detector Series: XRD 0822 xO			
	Pixel Size (µm)	Matrix	Frame Rate (fps)
	200 (1x1) 400 (2x2)	1024 x 1024 512 x 512	15 30
A/D Conversion		Energy Range	
14 bit / 78 dB		20 keV – 15 MeV	
Model	Scintillator Type	Application	
XRD 0822 xO3	CsI	Low Dose NDT ¹	
XRD 0822 xO14	DRZ Plus	Veterinary	
XRD 0822 xO15	DRZ Standard	Film Replacement	
XRD 0822 xO3 IND	CsI	High Dose NDT ²	
XRD 0822 xO14 IND	DRZ Plus	General Image Intensifier Replacement	

Detector Series: XRD 1622 xO			
	Pixel Size (µm)	Matrix	Frame Rate (fps)
	200 (1x1)	2048 x 2048	1
A/D Conversion		Energy Range	
14 bit / 74 dB		20 keV – 15 MeV	
Model	Scintillator Type	Application	
XRD 1622 xO3	CsI	NDT ^{1,2} Veterinary	
XRD 1622 xO14	DRZ Plus	Security	
XRD 1622 xO15	DRZ Standard	General Film Replacement	

Detector Series: XRD 0822 xP			
	Pixel Size (µm)	Matrix	Frame Rate (fps)
	200 (1x1) 400 (2x2) 200 x 400 (1x2) 200 x 400 (1x4)	1024 x 1024 512 x 512 1024 x 512 1024 x 256	25 50 50 100
A/D Conversion		Energy Range	
16 bit / 88 dB		20 keV – 15 MeV	
Model	Scintillator Type	Application	
XRD 0822 xP3	CsI	X-ray Components in Radiation Oncology, Low Dose NDT ¹	
XRD 0822 xP13	DRZ High	Low Dose NDT ¹	
XRD 0822 xP14	DRZ Plus	CBCT Imaging	
XRD 0822 xP15	DRZ Standard	High Resolution, Low Dose NDT ¹	
XRD 0822 xP3 IND	CsI	High Speed Inspection, High Dose NDT ²	
XRD 0822 xP13 IND	DRZ High	High Dose NDT ²	
XRD 0822 xP14 IND	DRZ Plus	CBCT Imaging	

Detector Series: XRD 1622 xP			
	Pixel Size (µm)	Matrix	Frame Rate (fps)
	200 (1x1) 400 (2x2) 200 x 400 (1x2)	2048 x 2048 1024 x 1024 2048 x 1024	1 4 2
A/D Conversion		Energy Range	
16 bit / 87 dB		20 keV – 15 MeV	
Model	Scintillator Type	Application	
XRD 1622 xP3	CsI	NDT ^{1,2}	
XRD 1622 xP13	DRZ High	NDT ^{1,2}	
XRD 1622 xP14	DRZ Plus	CBCT Imaging	
XRD 1622 xP19	DRZ PI200 & Cu Filter	X-ray Components in Radiation Oncology	
XRD 1622 xP22	DRZ Plus & Cu Filter	Industrial MeV Imaging	

Detector Series: XRD 1640 xN ES			
	Pixel Size (µm)	Matrix	Frame Rate (fps)
	400	1024 x 1024	15
A/D Conversion		Energy Range	
16 bit / 87 dB		20 keV – 15 MeV	
Model	Scintillator Type	Application	
XRD 1640 xN3 ES	CsI	NDT ^{1,2}	
XRD 1640 xN3 ES HS	CsI	Any High Sensitivity, Low Dose Application	
XRD 1640 xN13 ES	DRZ High	NDT ^{1,2}	
XRD 1640 xN14 ES	DRZ Plus	CBCT Imaging	
XRD 1640 xN19 ES	DRZ PI200 & Cu Filter	X-ray Components in Radiation Oncology	
XRD 1640 xN22 ES	DRZ Plus & Cu Filter	Industrial MeV Imaging	

Detector Series: XRD 1621 xN ES			
	Pixel Size (µm)	Matrix	Frame Rate (fps)
	200 (1x1) 400 (2x2)	2048 x 2048 1024 x 1024	15 30
A/D Conversion		Energy Range	
16 bit / 87 dB		20 keV – 15 MeV	
Model	Scintillator Type	Application	
XRD 1621 xN3 ES	CsI	High Frame Rate NDT ^{1,2}	
XRD 1621 xN3 ES HS	CsI	Any High Sensitivity & Frame Rate Low Dose Application	
XRD 1621 xN14 ES	DRZ Plus	High Frame Rate CBCT Imaging & NDT ^{1,2}	
XRD 1621 xN19 ES	DRZ PI200 & Cu Filter	X-ray Components in Radiation Oncology	
XRD 1621 xN22 ES	DRZ Plus & Cu Filter	Industrial MeV Imaging	

¹ Low Dose NDT: e.g. Composite Inspection, PCB Inspection, Crystallography, Microfocus Applications

² High Dose NDT: e.g. Automatic Defect Recognition (ADR), Casting, Weld Inspection, 24x7 High Energy Applications

PerkinElmer Inc.
Americas
2175 Mission College Blvd
Santa Clara, CA 95054
Phone: 408-565-0796
Fax: 408-969-6493

Europe
In der Rehbach 22
65396 Walluf, Germany
P: +49 6123 971-300
F: +49 6123 971-600
fpd@perkinelmer.com

Asia
Bldg 4, Lane 67, Li Bing Road,
Zhangjiang Hi-Tech Park,
Shanghai 201203, PRC
Phone: +86 (21) 38769510
Fax: +86 (21) 50791316



For further information visit www.perkinelmer.com or contact us at fpd@perkinelmer.com.

Copyright © 2010-2011, PerkinElmer, Inc. All rights reserved. PerkinElmer® is a registered trademark of PerkinElmer, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners.

008627C_01 0711P

圖 38 PerkinElmer 數位放射成像偵檢器產品型錄

(2) X 光光源與高壓產生器

在 X 光源選擇上，Varian 提供了一般工業用 X 光管，最高輸出光子能量由 160 kV 至 450 kV，主要提供一般尺寸待測物 NDT 檢查用；在高能直線加速器的光源部分，最高輸出光子能量由 0.95 MV 至 15 MV，主要提供大型貨物及安檢等 NDT 檢查用。

而高壓產生器的選擇必須參考選用的 X 光管搭配適當的產生器，VJ X-ray 提供一系列高壓產生器產品，電壓由 20 kV 至 160 kV，功率由 50 W 至 1000W，可依照電壓與功率選擇合適產品(圖 39)。

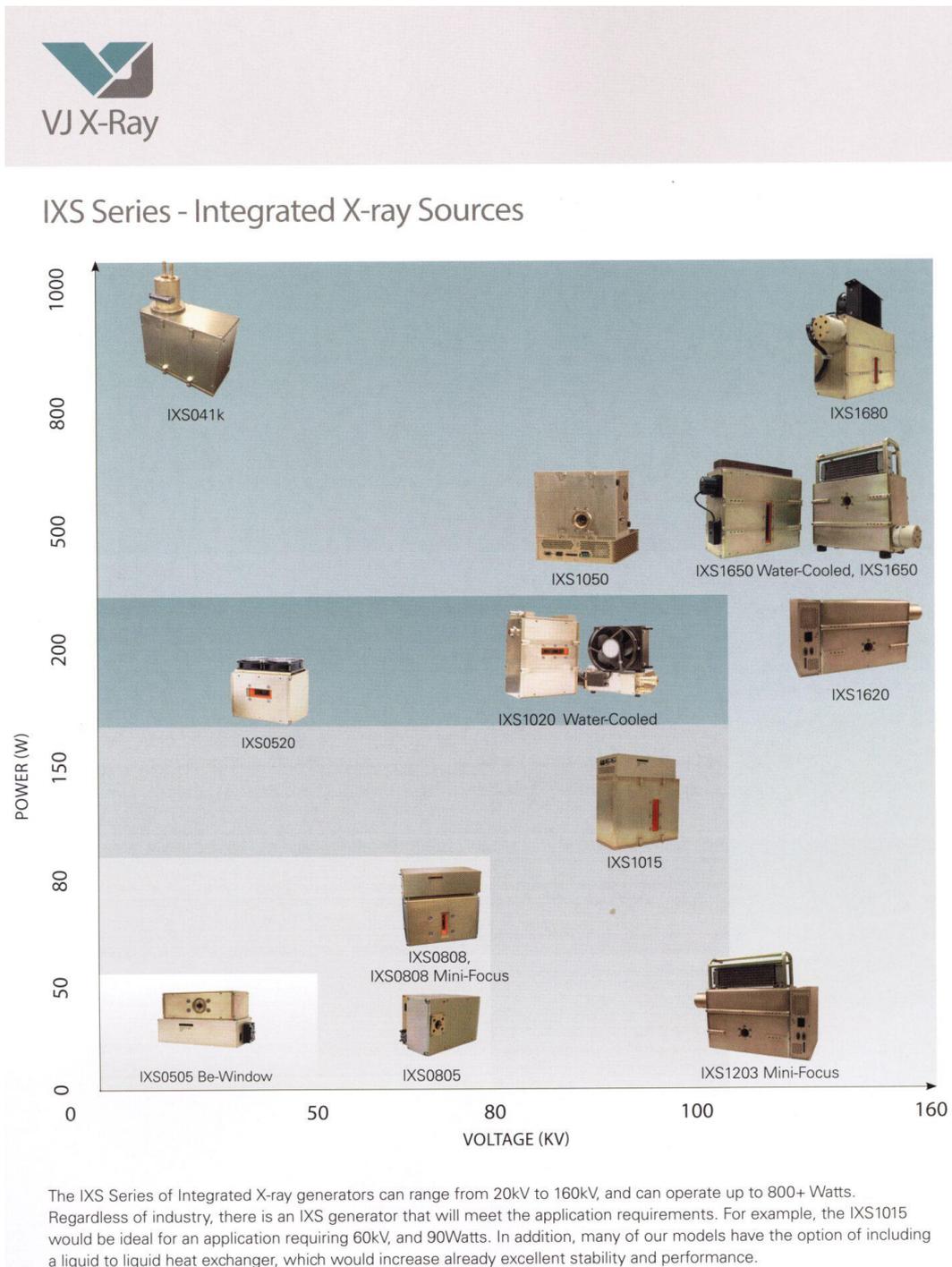


圖 39 VJ X-ray 高壓產生器產品

三、心得

此次奉派前往印度海德拉巴參加第 25 屆印度非破壞性檢測研討會與展覽，主要希望透過研討會學習與吸收國際與亞洲地區近年來 NDT 新知與技術發展情形，並參加展覽會以蒐集國際間 X 光工業檢測應用之相關設備及組件商資訊，作為本所發展輻射類成像技術應用之參考，亦為拓展至工業/非醫用領域之起步工作。筆者將參加會前導覽、大會開幕式與專題演講、技術論文發表與儀器與技術展覽會心得條列式整理如下：

(一) 會前導覽

1. 此次參加印度非破壞性檢測協會(ISNT)舉辦之會前導覽，由 GE 公司工程師與研究單位學者擔任講師。具實務經驗的 GE 工程師首先請各位學員自我介紹，讓大家了解互相的背景與研究方向，導覽過程中首先由工業用放射成像的技術原理切入，並講解 NDT 造影設備各硬體組件功用，最後進入應用端的介紹，深入淺出的講解令人印象深刻，並提供剛進入放射成像領域學員很好的學習機會。
2. 工業用放射成像偵檢器的動態範圍(dynamic range)是相當重要的，因為 NDT 的待測物與醫用檢查人體組織不同，有可能包含各種原子序差異很大的材質，要同時在一次檢測中顯示不同材料的內部結構則須選擇具有較佳動態範圍的成像偵檢器。
3. 目前市面上 NDT 放射成像類的檢測儀器以 GE 公司產品線最為齊全，並配合完整的影像處理輔助系統，自動標記顯示檢測物可能缺陷處，可以讓使用者相當容易且清楚地知道相關資訊，可作為未來所內在 NDT 放射造影儀開發時規格擬定的參考。
4. 而在印度研究單位講者的部分，主要針對其所屬的各單位在 NDT 領域研究發展現況進行介紹，大部分應用於國防軍事科技、能源或汽車工業等領域上，比較像是使用者端回饋，使用商業化的 NDT 造影儀，利用一些數位影像處理的方法改善原本使用傳統 X 光造影人工判讀的方式，提高檢測判讀效率進而改善產品的品質，且在部分研究單位的使用上，需檢測大尺寸待測物，因此在光源的選擇上會使用能提供高能 X 光的直線加速器，如此在設備與輻射屏蔽的成本將大幅提高。由此可以學習到我們比較少接觸到的使用者端意見回饋。

(二) 大會開幕式與專題演講

1. 研討會第一天為開幕式與專題演講，邀請到印度國內 NDT 領域重量級的人物進行專題演講，第一位講者為大學 NDT 部分的主任，讓筆者意外的是印度大學有專責 NDT 領域的部分，可見印度國家對於這一塊領域發展的重視。
2. 由專題演講也了解到印度目前在 NDT 領域所遭遇的挑戰與任務，且印度研究單位在 NDT 領域已具有輸出技術至國外的能力。
3. 印度擅長在數理、程式等領域，已自主開發出 X 光影像模擬軟體 SimXRAY。可藉由輸入待測物數值模型模擬電腦斷層重建影像，並可選擇不同待測物材質、造影系統組態，對於未來開發新型態放射造影儀來說，將可在前期研究上使用模擬方式進行評估，節省模擬機硬體製作成本與開發時程。

4. 在印度與核研所類似的單位為印度甘地原子能研究中心(IGCAR)，隸屬於印度原子能部門，IGCAR 包含了許多不同的組別，例如化學、電子設備、輻射安全、工程、核能技術、材料科學、冶金材料、反應器設計與反應器運轉與維持部門等，而在成像方面研究也包含了醫用與非醫用方面，皆朝向多元化的方向發展。

(三) 技術論文發表

1. 技術論文發表於 5 個會場同時進行，包含了各種 NDT 檢測技術論文近 250 餘篇，放射成像與超音波技術為 2 大主題，顯示這 2 種造影技術為目前 NDT 領域主流，但其他如熱顯影、光學與渦電流測試等技術也有許多論文發表，顯示其他新興技術也開始蓬勃發展。
2. 對於研究單位應用端使用者的部分來說，在會中 NDT 領域中放射成像技術主要應用於國防、航太、電子組件、汽車工業等方面，大多是中小型樣品的檢測，而檢測的過程是將樣品自整體系統中取出放置造影儀內檢測，屬於離線型的檢測，非屬直接在工廠內部零件線上檢測或是輸送帶式的檢測，如此離線型的檢測方式一般需花費較長的造影與影像重建時間以得到較佳的影像解析度，如未來欲發展此類型的放射成像造影儀，造影與重建時間將是一大挑戰但也可能是賣點之一。
3. 印度研究單位 IGCAR 也已經自主開發出工業用 CT 造影儀機構與重建程式，包含了 7 軸線性移動的運動機構，數位平板式 X 光成像偵檢器，重建程式也具備基本的校正功能，造影儀整實際測試可觀察到約 2 mm 的微小缺陷。也從會中初步得知關鍵零組件的規格，可作為未來相關造影儀設計的參考依據。
4. 由使用者回饋的統計結果可以發現，NDT 大部分的應用領域都在場內或線上的檢測，佔了約 70%，代表檢測器最好具備輕薄短小的特色，才能方便操作者在場內使用。另一組統計結果約有 38.8% 的使用者希望 NDT 設備軟體(包含操作介面、數據處理等)能有所改善，約有 24.7% 使用者希望能提升設備自動化功能，代表使用者需要的是方便、簡易操作並能迅速且自動輸出檢測分析數據的設備。最後，有超過 95% 的使用者認為檢測設備具有無線通訊功能是重要的或是有的話更好，此統計結果顯示 NDT 設備市場趨勢將走向無線通訊的時代。

(四) 儀器與技術展覽會

1. 展覽會場中有展示放射成像造影系統絕大多數還是以歐美廠商為主，印度本土廠商則尚未推出工業用 CT 造影儀，但由研討會中印度研究單位的簡報與目前已推出的放射造影儀機構運動模式來看，印度應已初步具備研發製造工業用 CT 的能力。
2. 印度總人口在全球僅次於中國，屬金磚四國之一且為亞洲之新興國家，國際 NDT 設備製造商紛紛在印度設立先進技術的工廠，且印度本土廠商也積極研發推出自主建立的 NDT 設備，為未來發展 NDT 放射成像類檢測儀器具潛力的市場之一。
3. 會場中數位放射成像偵檢器相關的攤位並不多，大多是 CR 掃描器的廠商，可能為目前 NDT 領域場內的放射成像類的檢測主要還是使用非數位(底片或 CR)的造影方式(使用方便、低成本)，而數位式偵檢器目前主要用於線上或離線的檢測。
4. 會場中遇到唯一來自中國廠商為相位超音波檢測儀的製造商，該廠商由超音波探頭內的壓電材料、電子電路與軟體開發均自行開發，並幫國外大廠代工，產品的基本

功能已與大廠不分軒輊，但在價格上具有競爭優勢，且操作與介面顯示上也相當的人性化，可見中國在工業用相位超音波檢測這塊已逐漸追上國際領先群腳步。

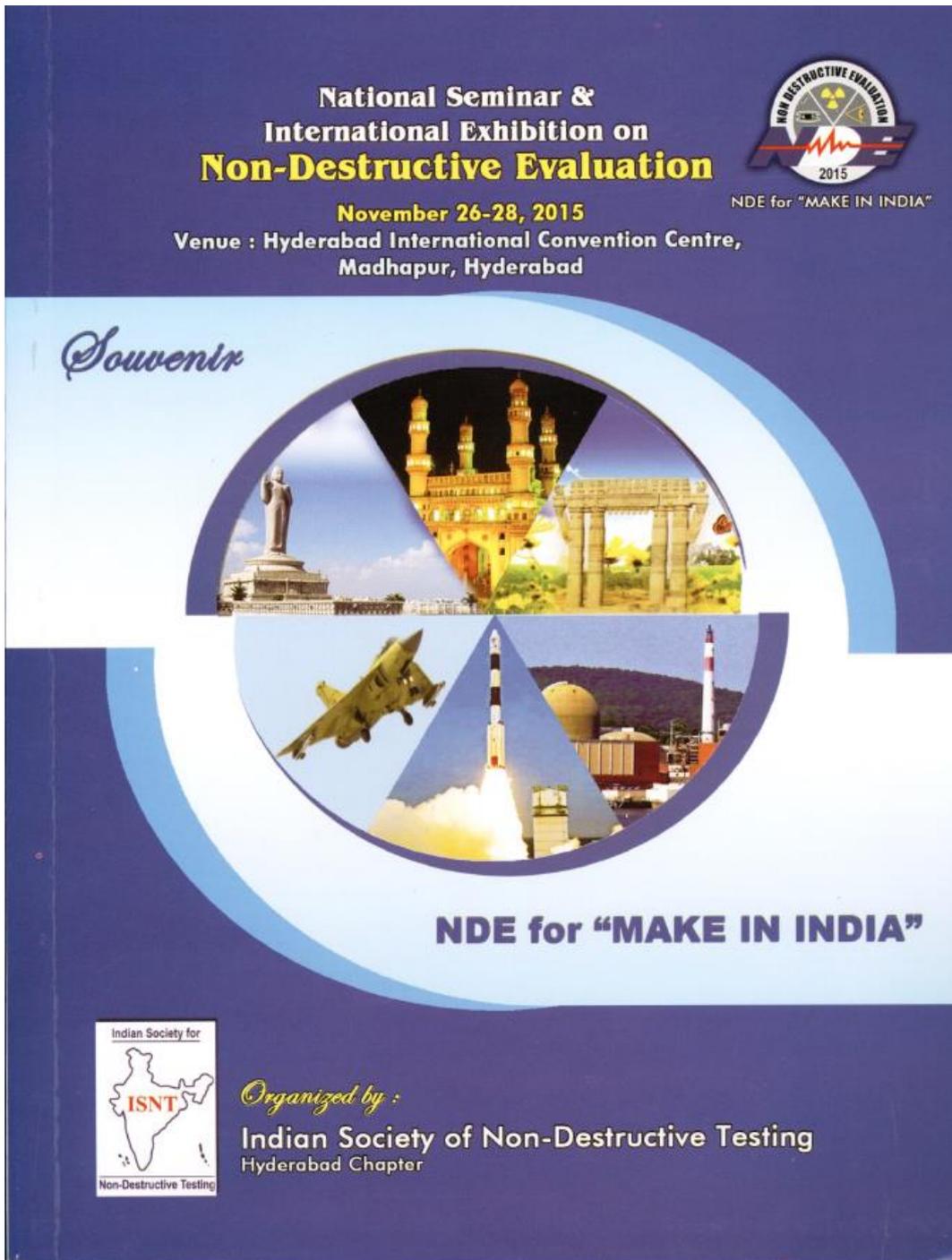
5. 藉由與會場中儀器製造商討論得知目前在 NDT 領域所用的造影技術大多由醫用領域移植而來，代表醫用造影技術領先工業，再者，工業用造影儀器上市前開發期程一般比醫用造影儀短，最後，工業放射成像類檢測儀器主流市場不像醫用被國際三大廠瓜分，因此與醫用相比，在技術上工業用放射成像類檢測儀器將容易切入市場。

四、建議事項

- (一) 建議所內持續派員參與國內外 NDT 相關會議與展覽，以快速蒐集並持續關注放射成像於 NDT 應用之技術發展與市場趨勢，有助於本所未來發展工業/非醫用領域之放射成像技術。
- (二) 建議所內未來派員參加放射成像相關國際會議可將印度等新興國家列入考慮，在有限預算內了解全球新興市場趨勢與技術發展，有助於本所在技術開發、設備功能與市場設定。
- (三) 工業 NDT 放射檢測設備開發期程與技術門檻均較醫用設備低，可與所內外使用單位建立合作關係了解應用面，並配合現有高階醫用放射成像技術能量，以迅速切入工業 NDT 市場。

五、附 錄

(一) NDE-2015 研討會論文集(摘要)封面



(二) NDE-2015 研討會論文集(電子全文)光碟

