

出國報告（出國類別：其他）

赴日本參加第 19 屆國際放射暨輻射
防護研討會及參訪
出國報告

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：陳志祥 技正

秦宏毅 技士

派赴國家：日本

出國期間：106 年 3 月 27 日至 4 月 1 日

報告日期：106 年 6 月 26 日

摘要

目前國際上各 X 光機生產公司，皆不斷研發新式射線照相檢驗 X 光機，朝向使用更低能量、更短照射時間，產生較低之輻射劑量方向發展；另外亦已發展數位式顯像系統於低活度、低能量之工作條件下，產生更低輻射劑量率，以確保工作人員之輻射安全；此外，如本次參訪的 RIGAKU 公司已研製 X 光機放射線照相檢測箱，本身有連鎖裝置、適當鉛屏蔽及合併使用數位式顯像系統，使系統相關輻射安全係數更加提升。這些技術的發展趨勢將使得工作人員輻射劑量曝露更為降低、確保工作人員之輻射安全。

本次參加之研討會中討論之摻雜鈾之釷鎳石榴石閃爍晶體耦合矽光電倍增管技術開發，可應用於正子電腦斷層造影（PET）和單光子發射電腦斷層造影（SPECT）等醫療放射影像設備，屬新的輻射偵檢儀器研發技術，將有助於本會掌握輻射偵測技術。未來若相關儀器或技術應用成熟時，適時引進將可提升國內放射影像及高能物理等多領域之輻射偵測能力。

藉由此次出國參訪行程，從中獲得了許多寶貴知識與訊息，可更為強化輻防管制工作的推動，增進本會人員管制效能。

目次

壹、 出國目的與行程.....	4
貳、 放射線照相檢驗 X 光機相關設備最新發展趨勢.....	6
參、 參加第 19 屆國際放射暨輻射防護研討會	12
肆、 心得與建議	19

壹、出國目的與行程

一、目的

目前國內放射線照相檢驗業所使用之移動型 X 光機、工業界櫃型及分析鑑定用 X 光機多為日本 RIGAKU 公司所生產，藉由本次出國順道至該公司參訪觀摩機會，了解國際上 X 光機發展現況及數位顯示技術，做為增進本會管制國內 X 光設備輻防管制效能。

另外職等所參加「第 19 屆國際放射暨輻射防護研討會」，為跨多領域性質之整合型研討會，會中有關游離輻射防護相關研討論文，有新型閃爍輻射偵檢儀器發展及新型光子偵測元件開發等，皆屬新的輻射偵檢儀器研發技術。藉由參加本次研討會，將有助於輻防管制人員管制效能之提升。

二、出國行程

表一 赴日參加研習及參訪行程表

日期	天數	地點	工作內容
106年3月27日	1	台北-日本東京	去程
106年3月28日至 3月29日	2	日本東京-日本大阪	參訪 RIGAKU 公司
106年3月30日至 3月31日	2	日本大阪	參加第 19 屆國際放射暨輻射防護研討會
106年4月1日	1	日本大阪-台北	回程

貳、放射線照相檢驗X光機相關設備最新發展趨勢

本次參訪之 RIGAKU 公司係一國際知名之 X 光機生產公司，參訪之廠區係位於東京昭島市，其工廠廠區主要生產各式工業用櫃型、移動型 X 光機及分析鑑定用 X 光機，目前國內放射線照相檢驗業所使用之移動型 X 光機有一半數量（約 40 部）為該公司所生產，另外本會管制之工業界亦有 100~200 部櫃型及分析鑑定用 X 光機亦為該公司所生產，因此，有此一參訪機會實屬難得，可藉由此次參訪以瞭解國際最新 X 光設備發展趨勢。本次參訪由其 X 線機器事業部資深部長林部長立昭、營業課神宮課長勝及俞建小姐接待（如圖 1），主要介紹該公司概況、生產之產品、國際上放射線照相檢驗 X 光機發展等。



圖 1 參訪 RIGAKU 公司並由其廠方人員接待說明

一、放射線照相檢驗X光機

X 射線 (通常稱為 X 光) 其產生原理係利用高速電子束撞擊物質靶所產生，X 光的能量依管電壓大小而定，亦即正極靶與負極燈絲間的電壓差而定，X 光能量愈高則其穿透能力愈強。國內放射線照相檢測作業所使用的 X 光機，能量峰值大多在 160kVp 到 300kVp 之間。在運用上，X 射線使用的優點是其相對能量較低、輻射危險性低，能量可以調整改變，影像品質較佳等，但缺點是設備通常較笨重 (約 30~40 公斤)，體積較大又需要電源等，一般均使用於固定廠區、內管壁厚度較薄管線或影像品質需求較高之焊道檢驗。目前國際上有許多放射線照相檢測相關 X 光機之製造廠商，其中較為知名且國內業者有使用者包括美國奇異公司、比利時 ICM 公司、日本 RIKOH 公司及此次參訪之 RIGAKU 公司。

目前各國際大廠皆不斷進行新型 X 光機設備產品之研發，以提供更便利、更精密之設備，讓使用者使用更放心更順手，同時使用更低電壓電流且照射時間短方式以減少相對之輻射劑量產生，此一發展趨勢將使得工作人員輻射劑量曝露大幅降低、確保工作人員之輻射安全，更符合現有輻射防護法規標準要求。而 RIGAKU 公司也不例外，其研發之新型放射線照相檢驗 X 光機設備 (如圖 2~3)，除重量更輕量化以方便工作人員搬運外，由圖 3 顯示，新型放射線照相檢驗 X 光機設備 CP 型式與舊型 EGM2 型式 (國內業者使用型式)，其可測鋼板厚度更厚，相同電壓電流、鋼板厚度狀況下，其照射時間更短，相對產生較少輻射劑量。

RF-3530CP	
Tube voltage	100kV~300kV by 1kV step
Tube current	0.5mA~3.0mA by 0.5mA step
X-ray tube Focal spot size	Metal ceramic X-ray tube 2.5mm * 2.5mm
Power supply	Single phase current 90V~250V/50/60Hz
Power supply capacity	2.0kVA
Setting timer	1 sec ~30 min. by 1sec step
Size	Generator 326.3*326.3 *735.0mm Controller 340.0*320.0 *150.0mm
Weight	Generator 38.0kg Controller 10.4kg



RF-2522CP	
Tube voltage	80kV~220kV by 1kV step
Tube current	3.0mA(fixed)
X-ray tube Focal spot size	Ceramic X-ray tube 2.5mm * 2.5mm (JIS)
Power supply	Single phase current 90V~250V/50/60Hz
Power supply capacity	1.5kVA
Setting timer	1 sec ~30 min. by 1sec step
Size	Generator 267 * 267 * 655mm Controller 340 * 320 * 150mm
Weight	Generator 20.4kg Controller 10.4kg



圖 2 RIGAKU 公司新型 CP type X 光機規範

CP series is superior to EGM2 series in the penetration.

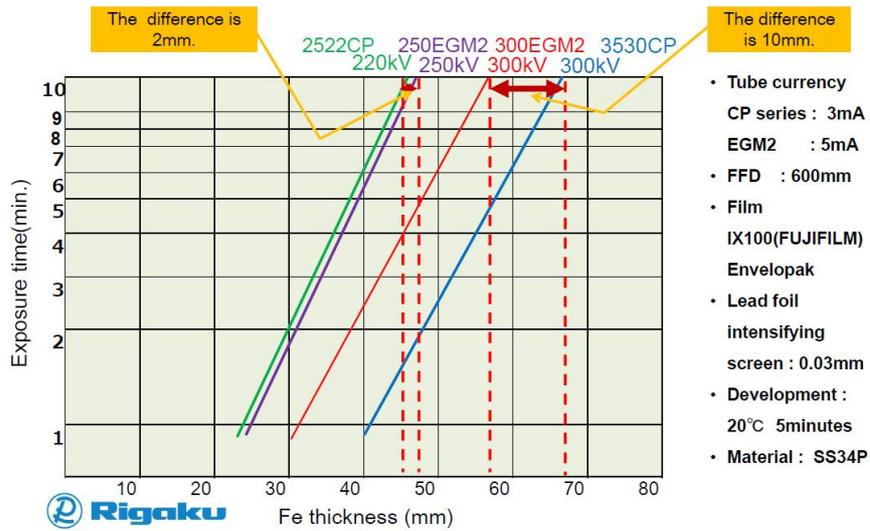


圖 3 RIGAKU 公司新型 CP type 與舊型 EGM2 type 比較

二、數位式顯像系統

傳統放射線照相檢測作業之歷史已有 1 百多年，其原理係使用一光源（如 X 光或加馬射線），利用其輻射能量穿透被測物體，以不破壞物質情況下，將被測物體內部瑕疵及缺陷，成像於底片上，進而再利用顯影定影技術將底片沖洗顯像。百年來，工業使用之放射線照相檢測技術並無太大改變，使用之底片皆為傳統式底片，惟近年來拜科技之進步，工業上之照相檢驗技術亦同醫用 X 光或加馬射線檢驗方式，逐漸發展為數位式，將影像資料轉化成數位資料，以利資料保存與存取（如圖 4 以 RIGAKU 公司發展之產品為例）。此外，採用數位成像方式，其使用之加馬射線活度或 X 光能量相較傳統底片方式為低，即產生之輻射劑量率低，工作人員接受之輻射曝露亦較低。

現階段工業上放射線照相檢測作業數位化方式有 2 種，一種為利用數位板及數位掃描機方式，影像成像於數位板上，而後利用數位掃描機掃描數位板上資料轉化成數位資料再用電腦讀取相關資料。另一種為數位偵測板可直接將影像資料轉成數位化而後利用電腦之專門程式將資料讀取出來（如圖 5）。

雖然，數位化底片系統在其他領域發展的非常良好，但在工業上之放射線照相檢測作業應用發展卻相對緩慢，主要原因有工業上被檢測物（銲道）形狀多樣，大小各異，數位板無法像傳統底片彎區多變；工業作業工地現場有較多灰塵，數位板易有刮損問題；數位板壽命約可使用 1000 次，相對其操作成本較高；數位資料容易再次編輯，相對可信度較低等，而國際數位顯像系統製造商為克服上述問題，未來將發展更耐磨數位板、且可查詢影像編輯歷史紀錄以防止人為不當編輯影像。但依目前國外傳統底片製造商逐漸減少，傳統底片價格越來越高，國際數位顯像系統製造商將加

速數位化方式研發，可預見工業上之放射線照相檢測作業數位化應用會越來越普及。若國內上述作業能夠數位化，工作人員接受之輻射曝露亦較低，相對輻射安全更能確保。



圖 4 RIGAKU 公司數位式顯像系統



圖 5 放射線照像檢驗之數位式顯像方式

三、X光機放射線照相檢測箱

放射線照相檢驗作業方式主要有 2 種方式，一種是作業現場壓力桶槽管線之銲道檢測，另一種為預製廠內就管線零件預先銲接，因前者現場作業時大多無法提供穩定電源及銲接設備較大型且管線厚度較厚等因素，一般而言，業者大多使用加馬射線來執行放射線照相檢驗，甚少使用 X 光機執行檢驗，但廠內預製之管線零件檢驗加馬射線或 X 光則各有業者使用。放射線照相檢驗作業使用加馬射線 (Ir - 192) 與 X 光之比較而言，加馬射線設備（重量約 23 公斤）一般都較 X 光機（重量約 30 多公斤）小且輕、穿透力強可檢驗較厚材質、不必電源且不易發生故障等，但 X 光機成像之影像品質較好。

此次參訪之 RIGAKU 公司為改善廠內預製之管線零件 X 光檢驗作業，減少人員遭受之輻射曝露，並與整合數位化作業，近年開發 X 光機放射線照相檢測箱（如圖 6），箱體四周鋪滿鉛磚，箱體表面輻射劑量小於 1 微西弗，箱門並與 X 光機電源聯鎖，箱門要確實關閉時 X 光機才能啟動，X 光照射時若箱門被開起則立即關閉 X 光機且有警示燈顯示 X 光機是否啟動，箱體底部設有數位板，可連接數位掃描機或直接以數位偵測板以 WIFI 方式將影像數位資料傳至電腦成像。

這種型示 X 光機放射線照相檢測箱之研發，因箱體底部有裝輪子，便於運送，可直接運送至工廠或實驗室內操作，應用於小型預製管線零件之 X 光檢驗作業，因此箱體有安全連鎖裝置且具足夠輻射屏蔽，加上可無線傳輸影像資料，將可有效減少工作人員之輻射曝露。

Industrial X-ray Cabinet System

Radioflex Cabinet 170 (Model: RFC-170)



Industrial X-ray Cabinet System consists of X-ray cabinet and X-ray generator. We meet you various needs for non destructive inspection, such as inspection of welding of pipes, welding of light alloy and connection of synthetic resin.

- Dose rate is on the surface of X-ray cabinet is 1 μ Sv/h or less.
- Function of Interlock stops X-ray generation, when the door of X-ray cabinet is opened.
- An electromagnetic lock keeps doors closed while X-ray is being generated.
- X-ray generation is suspended by activating emergency stop switches (At inside/Outside X-ray cabinet each, total 2 places).
- X-ray generation indicator lamp is lit up while X-ray is being generated.
- Inter light is installed in X-ray cabinet. When to open / close door, synchronize the light power On / Off.

Radioflex Cabinet 170 (Model: RFC-170)



Specification

X-ray generator		X-ray cabinet	
Tube Voltage	70-170kV in steps of 2kV	Dose rate	1 μ Sv/h or less on the surface
Tube Current	(STD mode) 5mA (at 90kV or more) (LOW mode) 4mA (at 90kV or more)		Interlock with door
Duty cycle	100% (10min, -10°C to +45°C)		Electromagnetic lock
X-ray tube	Ceramic X-ray tube Focal spot size (nominal) 2.0mm x 2.0mm	Standard features	Emergency stop switches
Inherent filter	Aluminum 2mm + Beryllium 1mm		Casters for mobility, adjuster bolts for fixing (may not be fitted in some case, owing to box shape, weight, etc.)
Generator insulation	SF ₆ insulation gas	Dimension	X-ray generation indicator lamp
Generator cooling	Forced air cooling by radiator		Outside : 1200 * 800 * 1800mm
			Inside : 1130 * 680 * 1200mm
			Weight : About 1.5t

圖 6 RIGAKU 公司 X 光機放射線照相檢測箱

參、參加第19屆國際放射暨輻射防護研討會

本次第 19 屆國際放射暨輻射防護研討會（ICRRP 2017: International Conference on Radioactivity and Radiation Protection）由 World Academy of Science Engineering and Technology(簡稱 WASET)於 2017 年 3 月 30、31 日在日本大阪凱悅飯店舉辦，本研討會係一跨多領域性質之整合型研討會，目的在激發跨領域之創新思維，綜合研討議題包括：(1)溫室氣體效應 (2)生物科技 (3)游離輻射防護(4)半導體之奈米技術等多項，會議期程共計 2 日。（如圖 7~9）



圖7 研討會相關資料



圖8 論文發表情形



圖9 小組與會人員留影

以下就輻射防護相關之新型輻射偵檢儀器開發研討論文進行說明，其中包括閃爍輻射偵檢儀器發展及光子偵測元件開發，將有助於本會掌握最新輻射偵測技術，未來若相關儀器或技術應用成熟時，將可提升國內放射影像及高能物理等多領域之輻射偵測能力，茲說明如下：

一、新式閃爍輻射偵檢材料

閃爍體偵檢儀器（Scintillation Detector）是利用游離輻射將晶體或分子中的電子激發至激態，而當電子回到基態時放出的螢光被收集後來作輻射偵測，是目前應用最多、最廣泛的游離輻射偵檢儀器之一。游離輻射所引起物質發光的現象很早就被人們所發現，之後利用光電倍增管測量了輻射在閃爍體內產生的微弱螢光光子，使得閃爍體偵檢儀器得到了非常迅速的發展。由於具有偵測效率高、分辨時間短、使用方便、適用性廣等特點，閃爍體偵檢儀器已廣泛應用於各領域。（如圖 10）

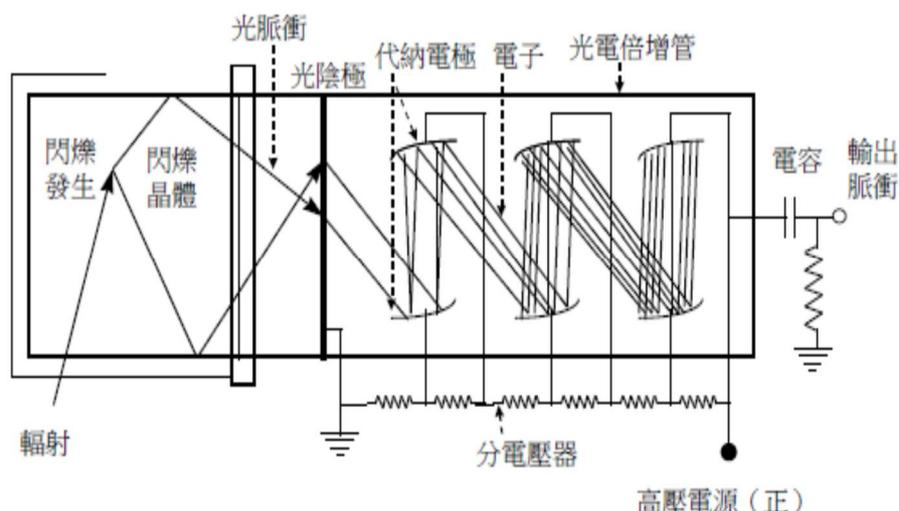


圖 10 閃爍體偵檢儀器示意圖

閃爍物質可分為有機與無機二種，簡要說明如下：

1. 有機閃爍體：包含液態有機閃爍體，適用於偵測阿伐、貝他輻射及塑膠式閃爍體，適於測貝他輻射、加馬輻射。

2.無機閃爍體：包含碘化鈉(NaI)或碘化鉍(NaTl)，其對加馬及 x 光輻射有極高的靈敏度、碘化鋰(${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$)，適於於測量中子。另外有鎵石榴石閃爍體，適用於測量正子電腦斷層掃描儀(PET)產生之加馬射線。

無機閃爍體材料已在高能粒子偵測、核子物理、醫學成像設備如電腦斷層(CT)及正子放射斷層掃描(PET)等方面有很廣泛的應用。近幾十年來，人們對高密度、高光輸出和快衰減閃爍材料之研發需求，從最初的碘化鈉(NaI)，到目前被視為最有潛力之閃爍材料鎵石榴石(Gallium aluminate garnet, $(\text{Ga}, \text{Al})_5\text{O}_{12}$, GAG)，本次研討會中即有研究論文以摻雜鈾之鈹鎵石榴石($\text{Gd}_3(\text{Ga}, \text{Al})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$, GAGG)作為正子成像應用，其特性具高光輸出、能量分辨率高、密度大、無自體輻射、無潮解等優點，可提升現有輻射偵檢儀器時間和空間分辨率，強化輻射偵檢之準確度，可以應用於醫療設備之各種輻射偵測。

二、新型光子偵測元件

利用光電倍增管以偵測輻射在閃爍體內產生的微弱螢光光子而轉換成可量測電流或電壓，已應用正子電腦斷層造影 (PET) 和單光子發射電腦斷層造影 (SPECT) 設備，但光電倍增管易受強磁場影響，故磁振造影(MRI)設備即無法利用此一偵測元件，為突破此一限制，近年來新型之光子偵測元件矽光電倍增管(Silicon Photomultiplier, SiPM)已逐漸於各項領域應用。

矽光電倍增管係利用半導體之晶圓製造程序而製成之半導體元件，國內許多半導體及晶圓製造公司也都有能力製造，此類元件又可細分為類比式及數位式矽光電倍增管（如圖 11），另矽光電倍增管銷售量每年都在快速成長，以光電技術見長的台灣在此一光電元件應能有所著墨。

矽光電倍增管之特性為體積小、工作電壓低、耗能低、內部增益高(高達 10^6 次方量級)、時間響應快、且不受電場與磁場之影響、並具備高放大倍率與高訊雜比(SNR)，且可利用製程調整而製成多陣列元件，進而提高偵測效能。除可進行輻射偵測外，亦廣泛應用於核醫學及高能物理領域，另外，利用此一光電元件所製成光學傳感器亦可應用於自動駕駛汽車及無人機、機器人等先進科技領域。

Molecular Imaging: Transition to solid-state sensors

(Source: Solid-State Medical Imaging report, Yole développement, Jan. 2017)

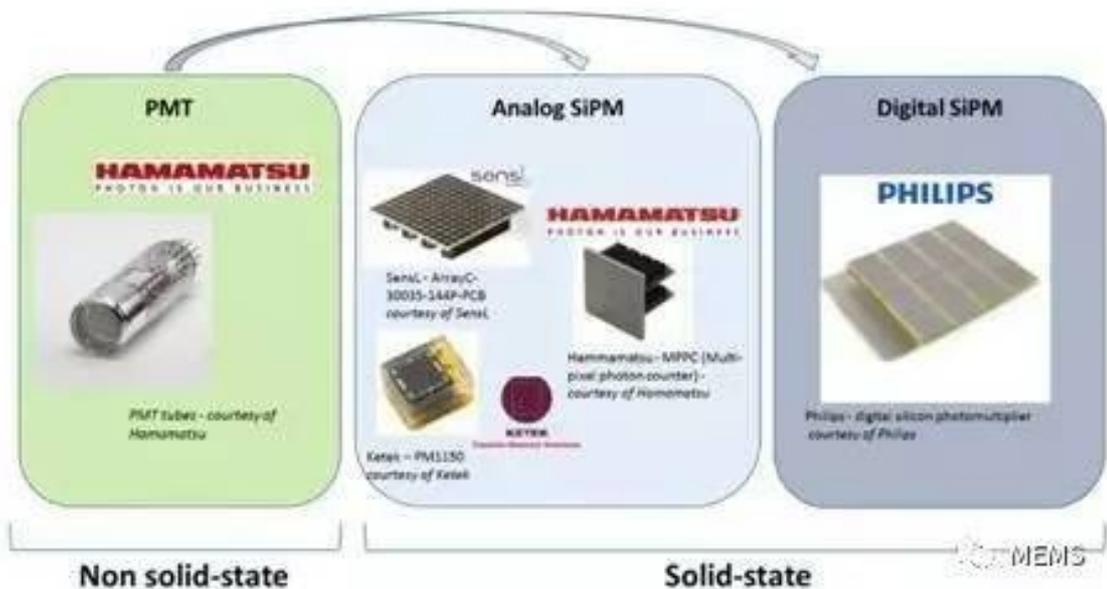


圖 11 世界大廠生產之類比及數位矽光電倍增管(資料來源：日本濱松光子公司)

三、鎂石榴石閃爍晶體耦合矽光電倍增管

本次參加的研討會中，韓國學者發表摻雜鈾之鈷鎂石榴石閃爍晶體(GAGG)耦合矽光電倍增管以做為個人輻射偵檢儀器之研究，此類輻射偵檢儀器可以應用於國土安全及環境輻射偵測。其所開發之可攜式輻射探測器儀同時結合 RF 射頻模組，可用來測量加馬射線，並且透過無線網路或智慧型手機達到相關接收量測數據。輻射探測器儀消耗功率約 2.7W，重量約

340g (含電池)，並獲得良好之能量分辨率。其所使用之設備外觀示意圖如圖 12、13。

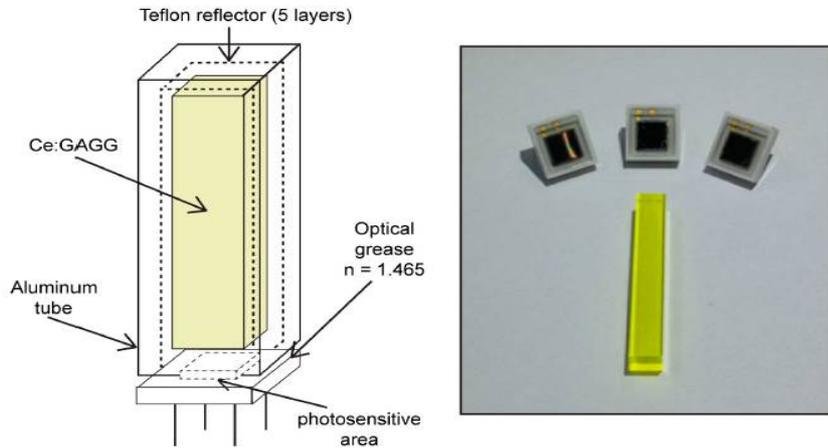


圖 12 GAGG 耦合矽光電倍增管示意圖

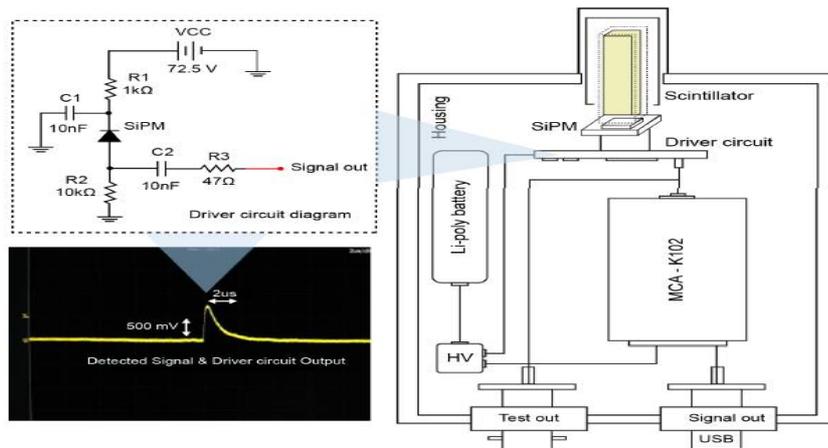


圖 13 GAGG 耦合矽光電倍增管製成攜帶式加馬輻射偵檢儀器

肆、心得與建議

此次有機會參訪國際知名之 X 光機生產製造公司，機會實屬難得，該公司在生技產業、半導體面板產業、奈米產業、能源產業等多個面向領域所使用之 X 光機具相當水準。另外各國製造商亦不斷研發最新 X 光機、數位科技，以減少使用 X 光機電壓電流，產生較低輻射劑量，進而達成工作人員輻射防護之目的。

本次研討會於 2017 年 3 月 30、31 日在日本大阪凱悅飯店舉辦，雖只有短短 2 天，但討論議題相當廣泛成果豐碩，其中表摻雜銻之釷鎳石榴石閃爍晶體耦合矽光電倍增管開發，為閃爍輻射偵檢儀器發展之研究重點，國際上研發才剛剛起步，此項科技可應用於正子電腦斷層造影（PET）和單光子發射電腦斷層造影（SPECT）設備，台灣亦可評估投入相關研發。

本次國外出差行程，建議事項如下：

1. 持續關注國際放射線照相檢驗數位式技術發展，有助國內輻防管制：

因傳統底片製造市場越來越萎縮，加上有環保污染問題，利用低活度或低能量輻射源之數位式放射線照相檢驗技術亦不斷開發，而國際 X 光設備製造商也陸續開發出各式數位設備，可預見工業上之放射線照相檢測作業數位化應用會越來越普及，相對產生之輻射劑量也會更少，輻射安全性將會更好，對工作人員輻射安全也越有保障。

2. 參加國際研討會議外宜藉機掌握國際輻防實務發展動態，以促進學理與實務緊密結合：

鑑於科技日新月異，相關輻射防護科技、商品亦不斷推陳出新，可多鼓勵本會管制人員多參加國際研討會以汲取新知外；除此，為增進實務上應用成效，可藉機透過參訪國際相關產業機關或工廠，適時瞭解掌握最新商品設

備動態，補足實務技術及經驗之不足，以促進主管機關管制上之學理與實務緊密結合。