

法務部矯正署雲林第二監獄 115 年度「18 小時輻射安全訓練課程」第 3 期					
日期	星期	時間	時數	課程	講座
115/09/19	六	08:30-10:30	2	輻射防護實習或見習 (各式安檢設備操作與防護)	陳厚語老師
		10:30-12:30 13:00-15:00	4	基礎輻射	姚學華老師
		15:00-18:00	3	輻射防護	姚學華老師
115/09/20	日	08:30-09:30	1	輻射防護實習或見習 (行李檢查 X 光機檢操作與防護)	陳厚語老師
		09:30-12:30	3	輻射應用與防護	陳厚語老師
		13:00-18:00	5	游離射防護法規	陳厚語老師

訓練課程說明：

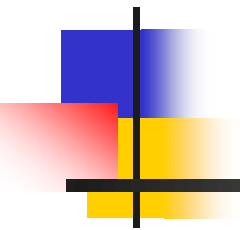
全部課程時數符合以訓練取代輻射安全證書者，發給結訓證明。

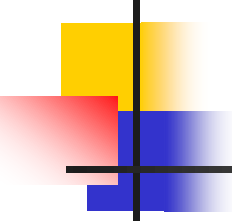
18小時輻射安全訓練課程及時數規定：

輻射安全證書需接受之訓練課程及時數（本項訓練實施期間最長不得超過一個月，其上課總時數不得少於一十八小時）	
訓練課程	時數
基礎輻射	四小時以上
輻射防護	三小時以上
輻射應用及防護	三小時以上
游離輻射防護法規	五小時以上
輻射防護實習或見習	三小時以上

訓練單位：衛聖有限公司 核安會輻射訓練業者認可 輻訓字第 035 號

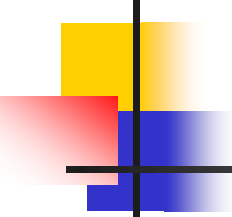
基礎輻射





能量

- 動能： $0.5 mv^2$ (m為質量，v為速度)
- 位能： mgh (m為質量，g為重力加速度，h為高度)
- 動能與位能的單位：
 $1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 1 \text{ J}$, $1 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-2} = 1 \text{ erg}$
- 熱能：1卡(calorie) = 1 g水升高 1°C
- $1 \text{ calorie} = 4.18 \text{ J}$



電子伏

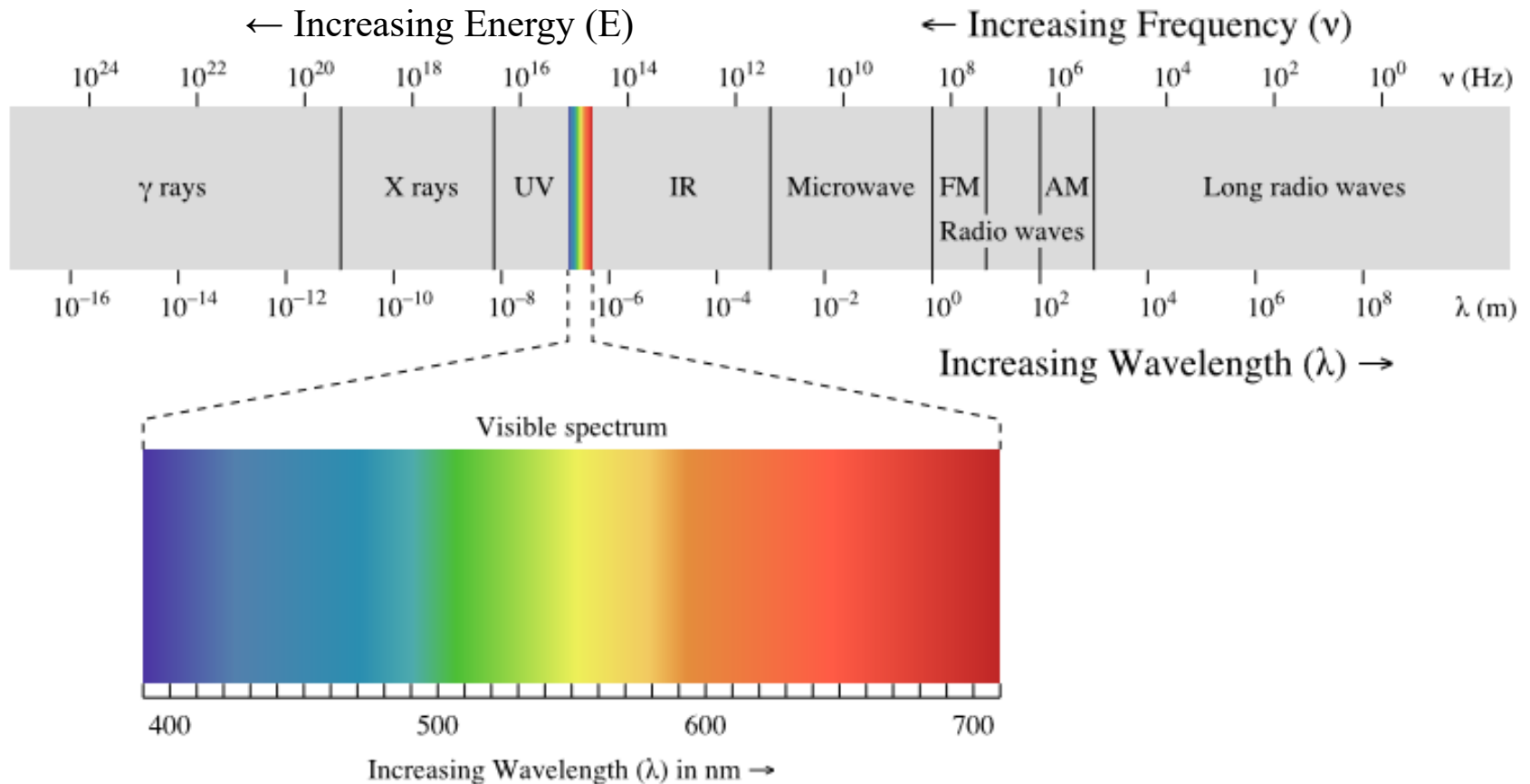
- 電子伏(electron volt, eV)：一個電子以1 V的電位差加速1 m時，所呈現或所具有之能量為1 eV。
- $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。
- 電子束縛能(binding energy, E_b)：約 eV(外層軌域)至keV(內層軌域)級。
- 核子平均束縛能： $\sim 8 \text{ MeV}$ 。

電子與核子的平均束縛能

元素	*K _α (keV)	能量(keV)	核種	能量(MeV)
₁ H	-	0.014	⁴ He	7.1
₂₆ Fe	6.40	7.11	²⁴ Na	8.4
₄₂ Mo	17.5	20.0	⁵⁶ Fe	8.8
₇₄ W	59.3	69.5	⁹³ Sr	8.7
₈₂ Pb	75.0	88.0	¹⁴⁰ Xe	8.4
₉₂ U	98.4	116	²³⁶ U	7.6

*L層電子補進K電子洞所釋出的光稱為K_α

光的能量、頻率與波長



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/EM_spectrum.svg

X光之發現(1895)

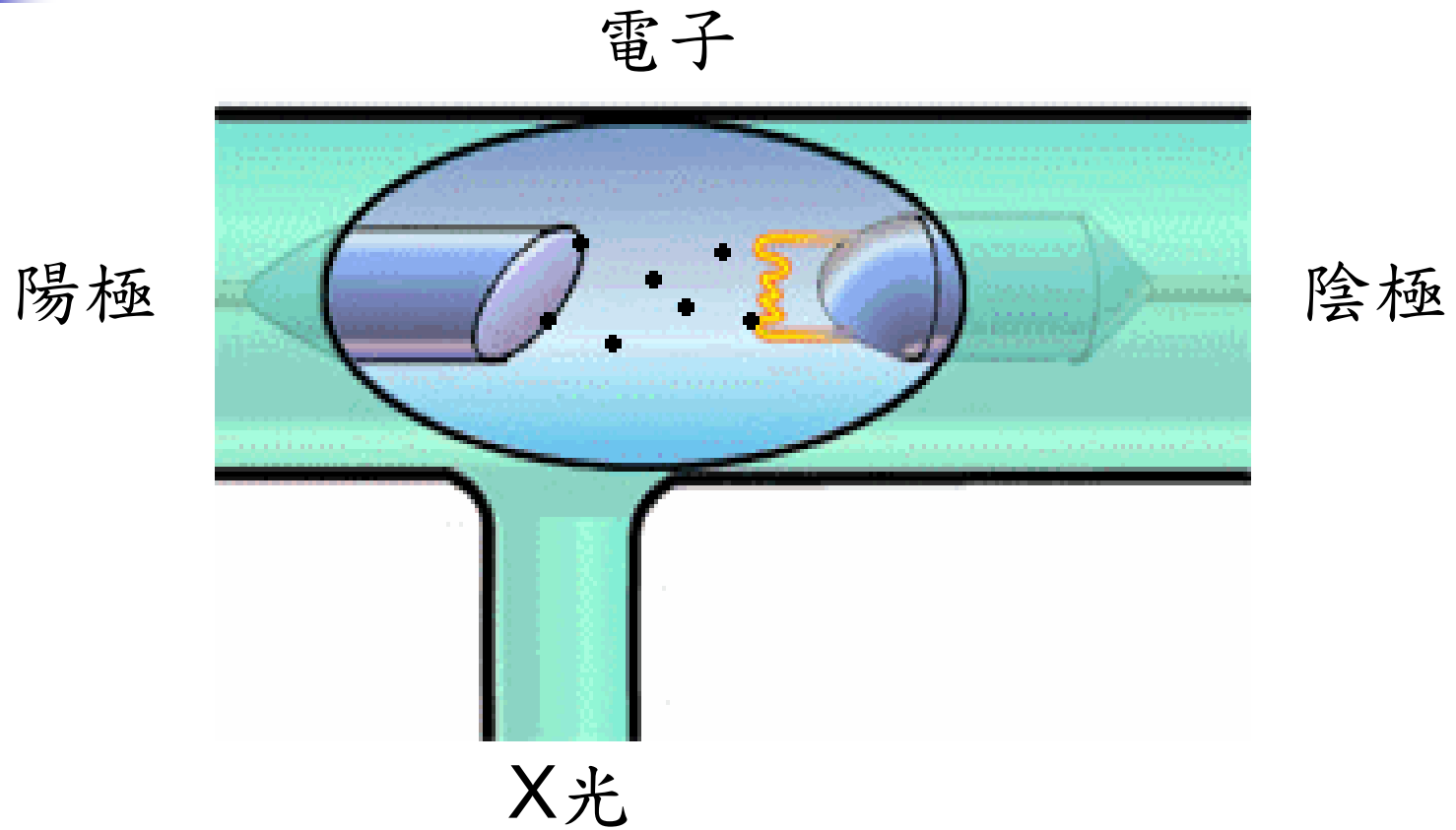
discovery of the X-rays

Wilhelm Conrad Röntgen

Nobel prize 1901

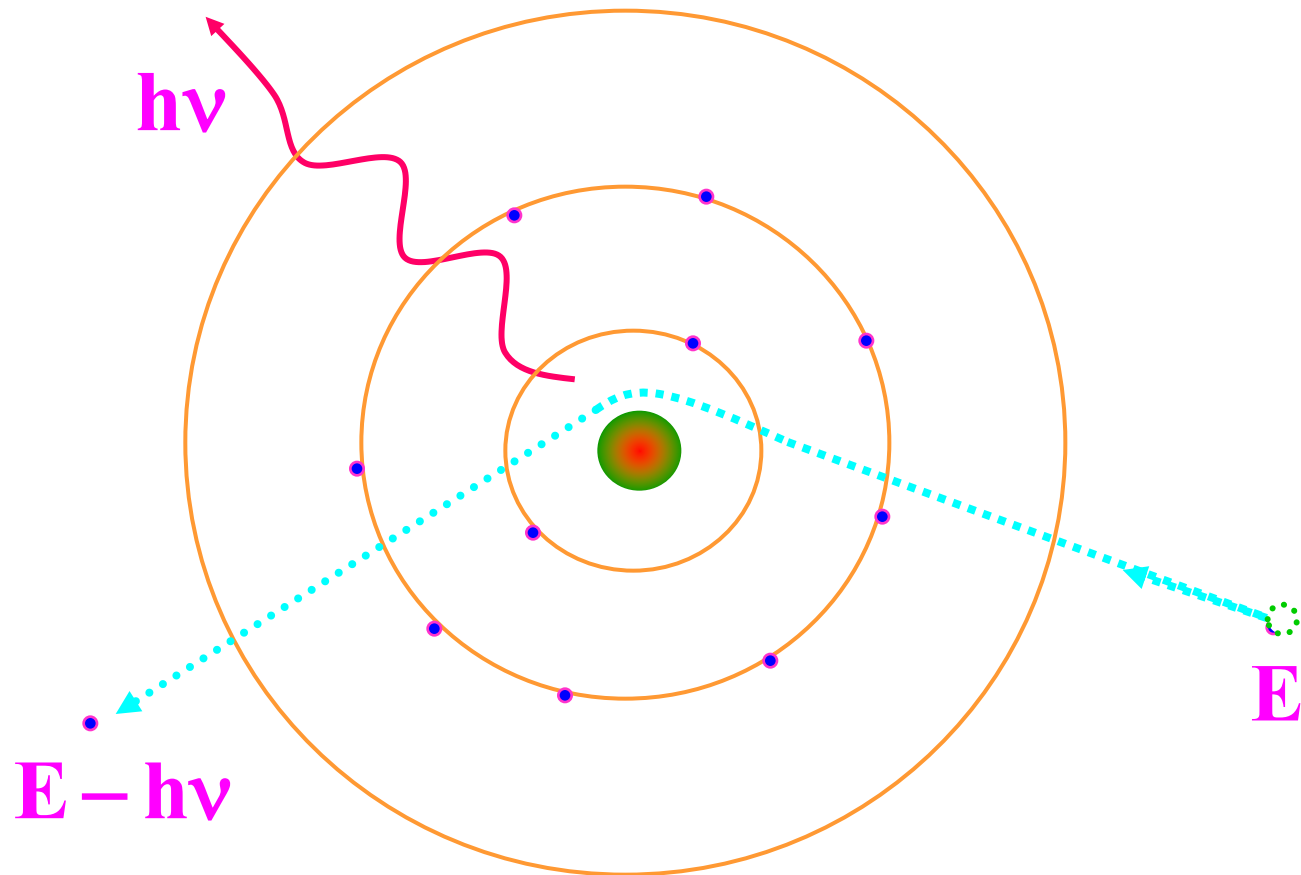


X光的產生

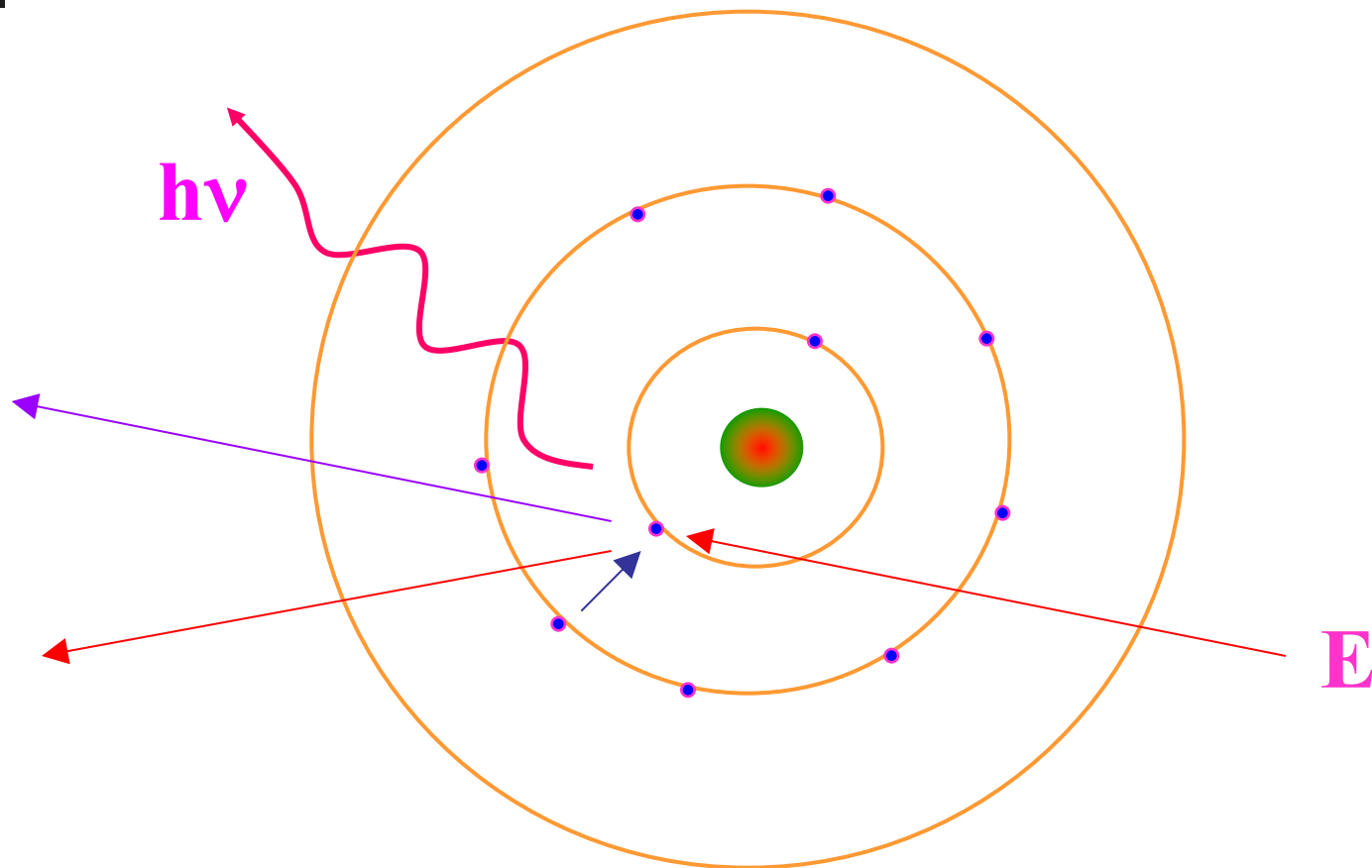


From: U. of Wash. Environmental Health and Safety

X光-制動輻射

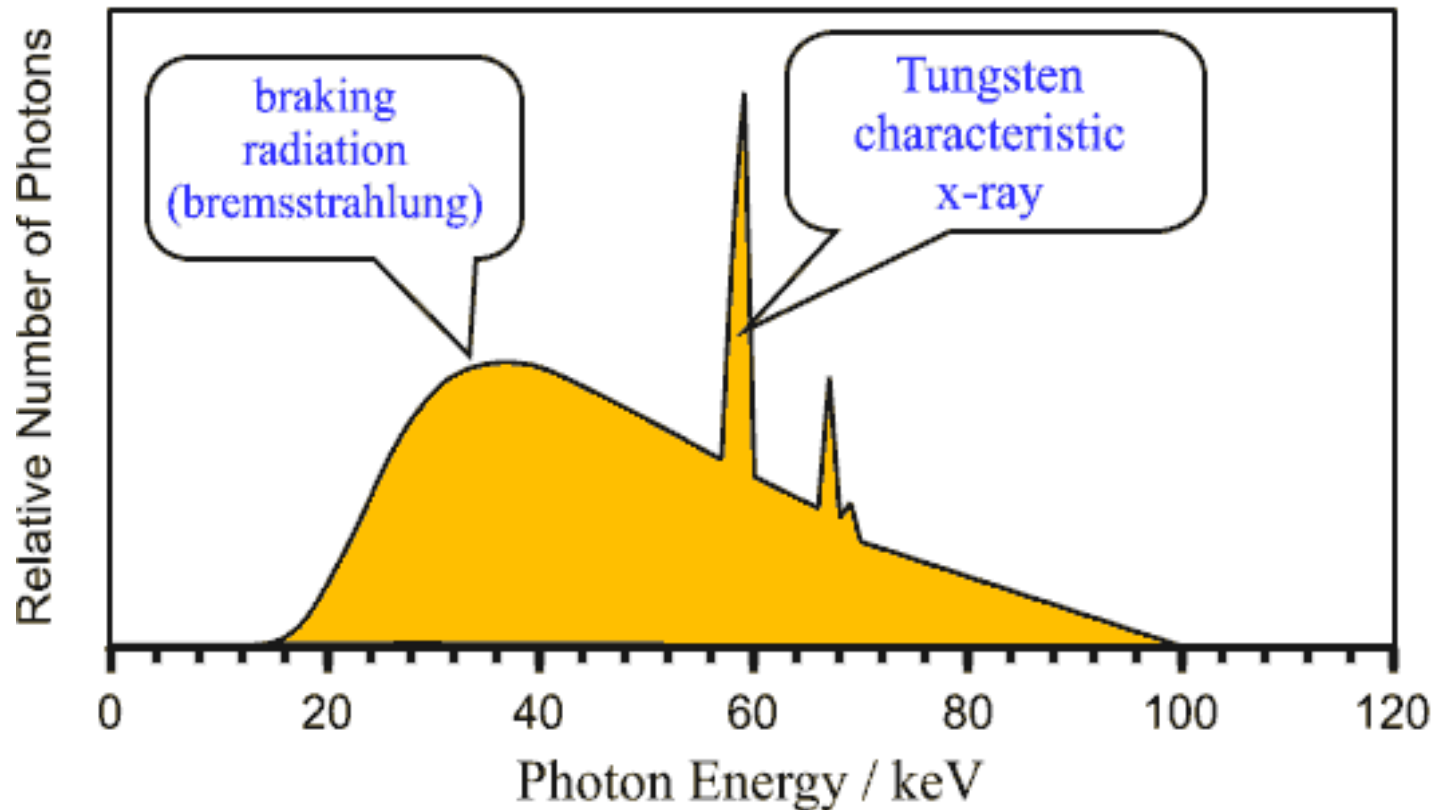


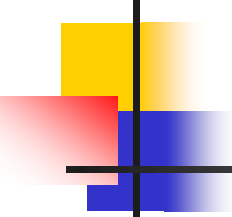
X光-特性輻射



X光的能譜

Calculated X-ray Spectrum 100kV, Tungsten target





電磁輻射的衰減

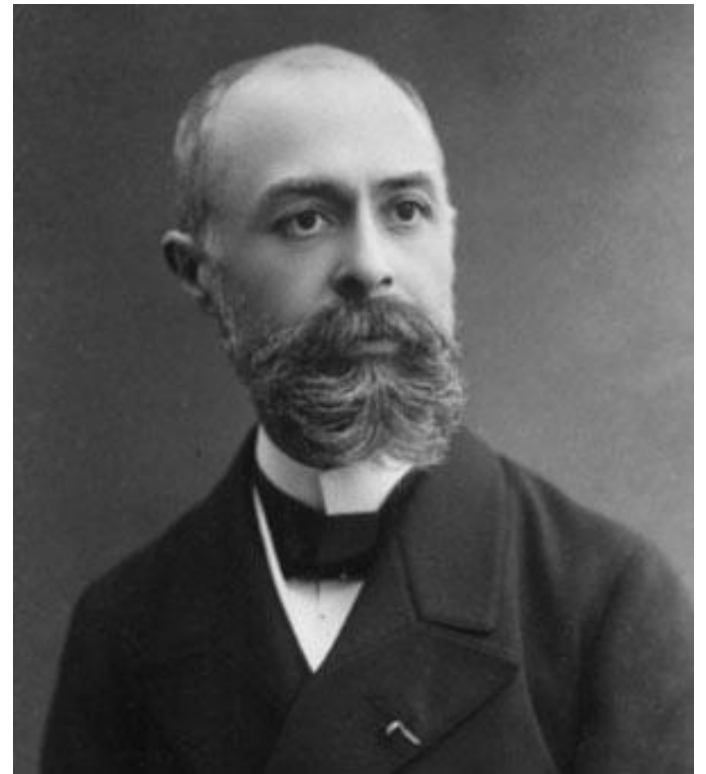
- **衰減係數**(attenuation coefficient, μ)：單位物質厚度(例如cm或g cm⁻²)內某能量光子與某物質作用的機率。
- $I = I_0 e^{-\mu x}$ ；其中， I_0 與 I 分別代表最初與進入物質某深處 x 的窄射束光子強度(例如cm⁻² s⁻¹)。
- **半值層**(half-value layer, **HVL**)：光子衰減至原有數目一半所需的物質厚度，稱為該物質屏蔽該光子的半值層， $\mu = 0.693/\text{HVL}$ 。

放射性之發現(1896)

the discoverer of
radioactivity along with
Marie Skłodowska-Curie
and Pierre Curie

Antoine Henri Becquerel

Nobel prize 1903



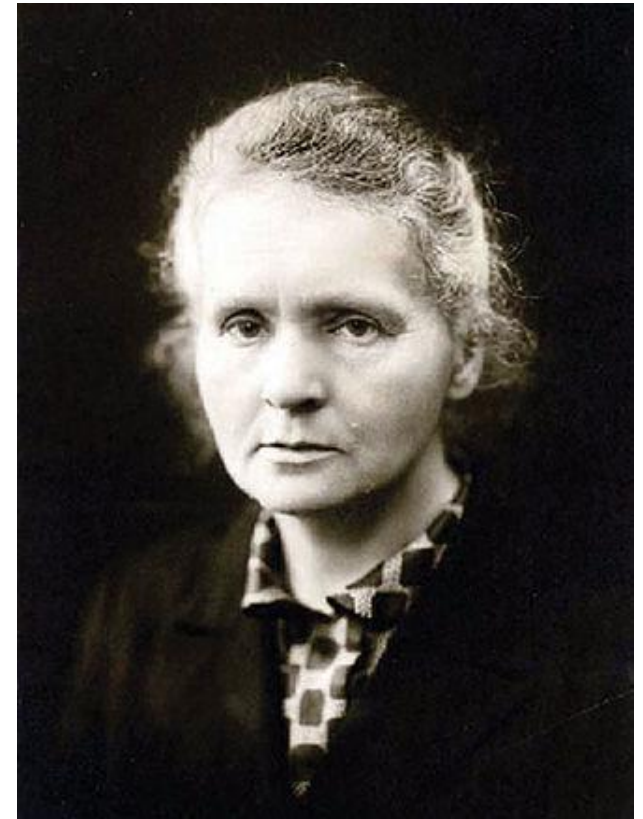
放射性、鐳與鈾之發現

the discoverer of radioactivity
along with Antoine Henri
Becquerel and Pierre Curie

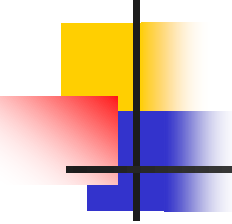
the discovery of the elements
radium and polonium

Marie Skłodowska Curie

Nobel prizes 1903, 1911

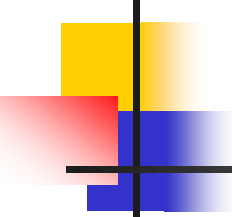


https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/Marie_Curie_c1920.jpg/330px-Marie_Curie_c1920.jpg



核種

- 核種(nuclide)：指原子之種類，由核內之**中子數**、**質子數**及核之**能態**區分之。
- 核種的表示法： A^X 。
- X 為元素符號，由週期表可查得 X 的原子序(Z)， $Z = \text{質子數} = \text{電子數}$ 。
- A 為質量數，等於質子數加中子數。
- 核種能態分為**基**(ground)態與**介穩**(meta-stable)態，基態以 A^X 或 A_g^X 表示，介穩態以 A_m^X 表示。

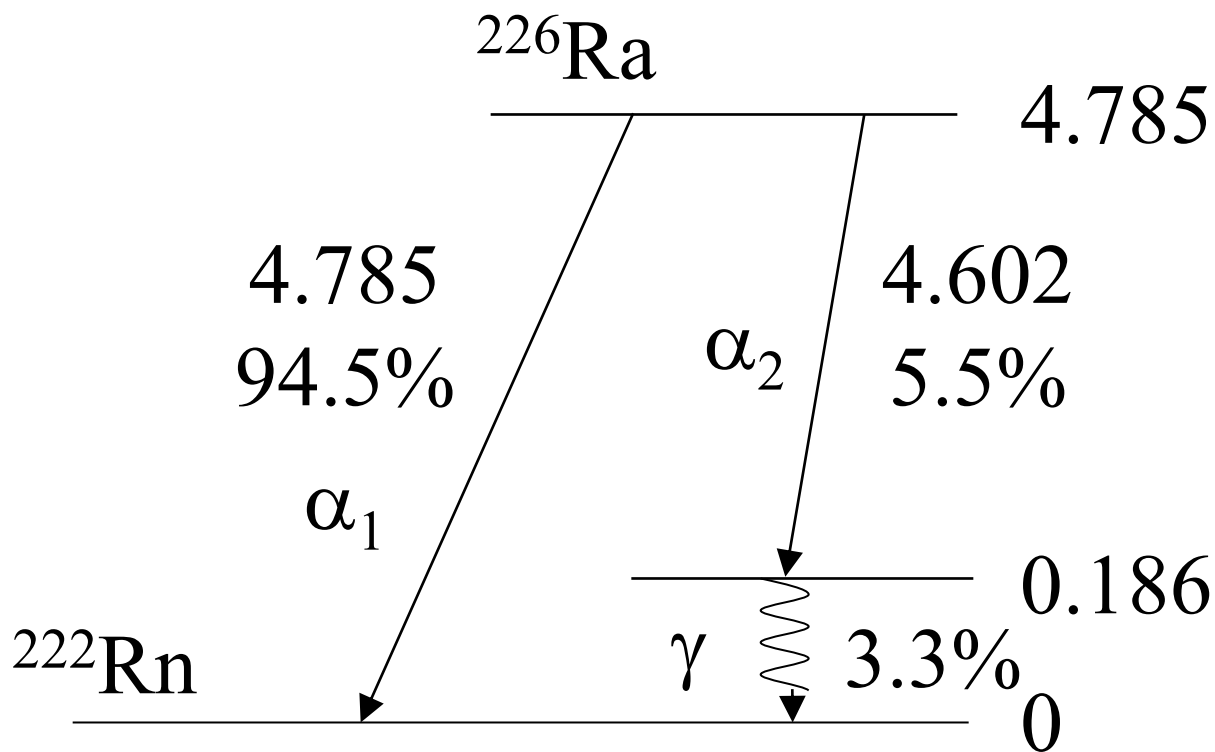


天然放射性核種

- 極長半衰期(地球壽命約46億年)核種：例如 ^{40}K 。
- 衰變系列成員：
 - 釷系($4n$)： $^{232}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow ^{220}\text{Rn} \rightarrow \dots \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ 。
 - 鐳系($4n+1$)： $^{237}\text{Np} \rightarrow \dots \rightarrow ^{209}\text{Bi}$ (所有成員皆已衰變)。
 - 鈾系($4n+2$)： $^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} \rightarrow \dots \rightarrow ^{210}\text{Po} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ 。
 - 錒系($4n+3$)： $^{235}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ 。
- ^3H 與 ^{14}C ：宇宙射線與大氣層中 ^{14}N 作用所生成。

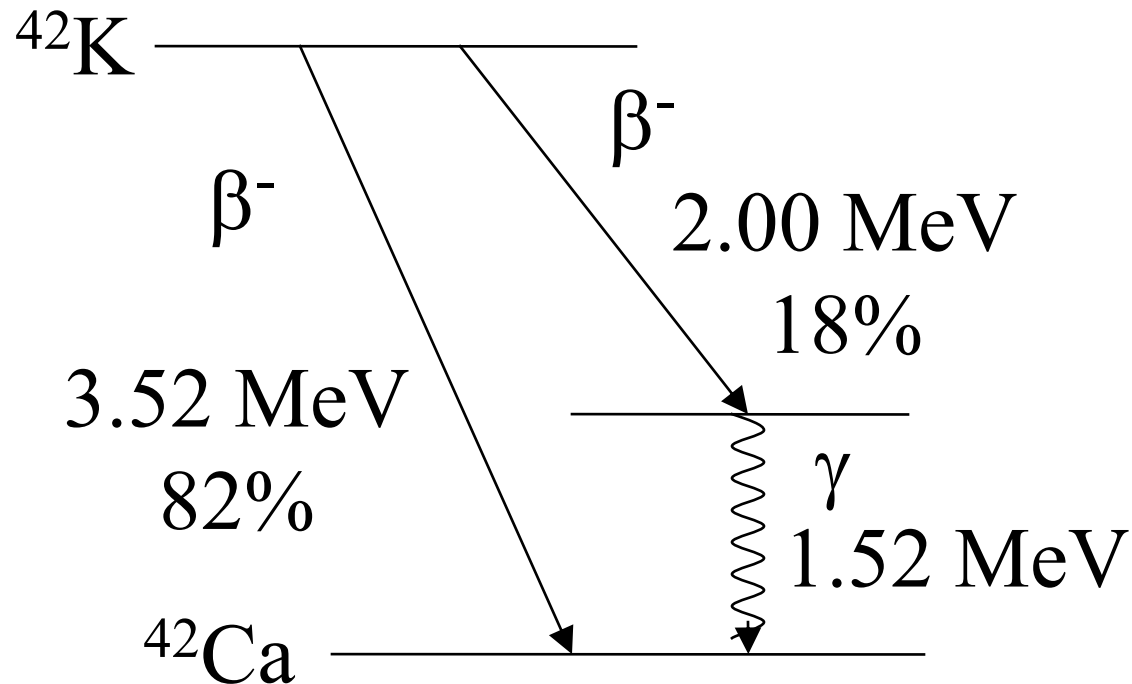
核種衰變圖(1/3)

- 原子序 >83 、 α 衰變



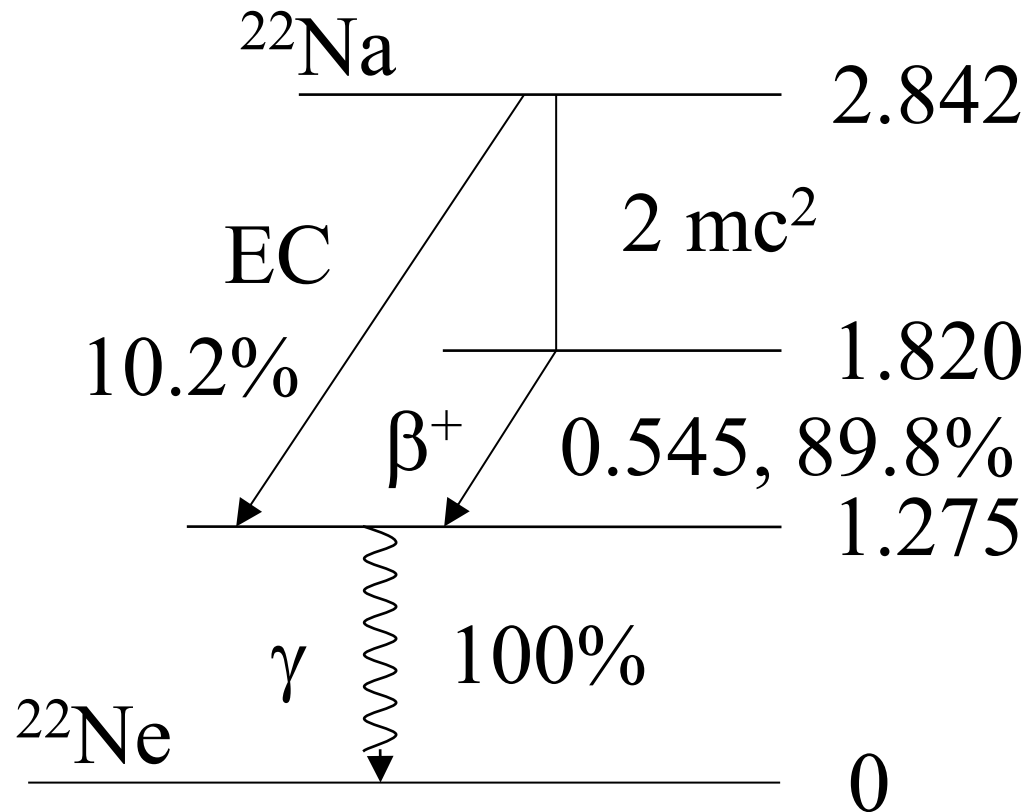
核種衰變圖(2/3)

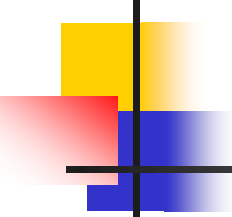
- 中子比例過高、 β^- 衰變



核種衰變圖(3/3)

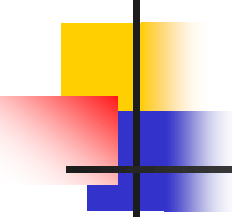
- 質子比例過高、 β^+ 衰變或電子捕獲(EC)





放射性核種的製造(1/2)

- **迴旋加速器(cyclotron)**：利用迴旋加速器所加速的正荷電粒子，例如質子、氘核、 ^3He 或其他原子核，撞擊穩定的靶核，由於原穩定靶核添加了能量與/或核子，可能成為放射性核種。
- **反應器(reactor)**：可直接純化反應器內核分裂反應的產物；可利用反應器或其他核反應生成的中子，以中子捕獲反應產生放射性核種。



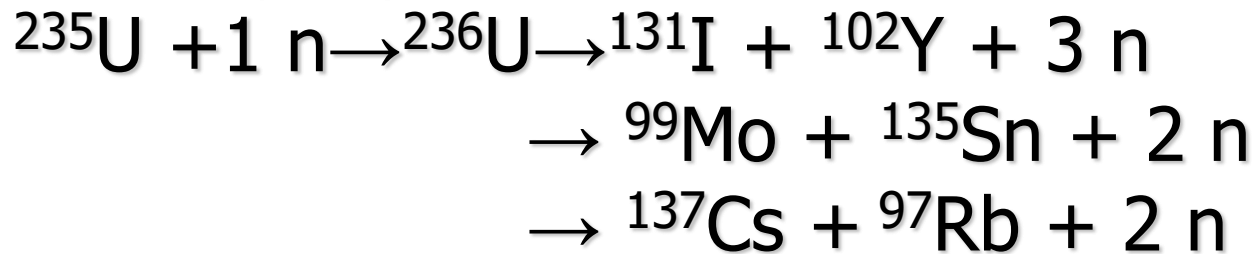
放射性核種的製造(2/2)

■ 迴旋加速器：

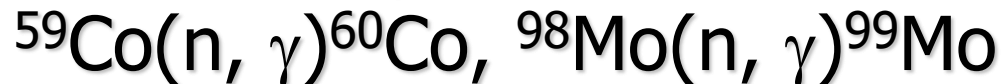


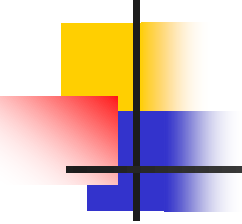
■ 反應器：

◆ 核分裂(n, f)反應：



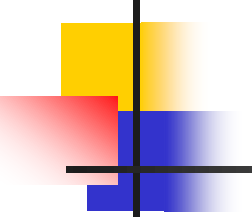
◆ 中子捕獲(n, γ)反應：





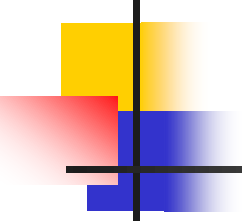
穩定物質的量

- **莫耳**：1莫耳指 6.02×10^{23} 個原(分)子。
- 質量：1莫耳原(分)子的質量為**原(分)子量**。
- 體積：自由空間、STP(0°C , 1 atm)下，1莫耳理想氣體的體積為22.4升(L)。
- 濃度：1升溶液中溶有1莫耳溶質時，此溶質的**容積莫耳濃度**為1 M。



放射性物質的穩定性

- **衰變常數**(decay constant, λ , 單位為 s^{-1})：指單位時間內放射性核種進行衰變的機率；故可用以代表一放射性核種穩定性的程度，即單位時間內衰變機率高者穩定性差，反之則優。
- **半化期**(half-life, T 或 $t_{1/2}$)：放射性核種衰變至原有數量一半所需的時間，稱為該放射性核種的半化期， $\lambda = 0.693/T$ 。
- 放射性核種經 N 個半化期後，原子數目將降為原來的 $(1/2)^N$ 或降為原來的 $e^{-\lambda t}$ 。

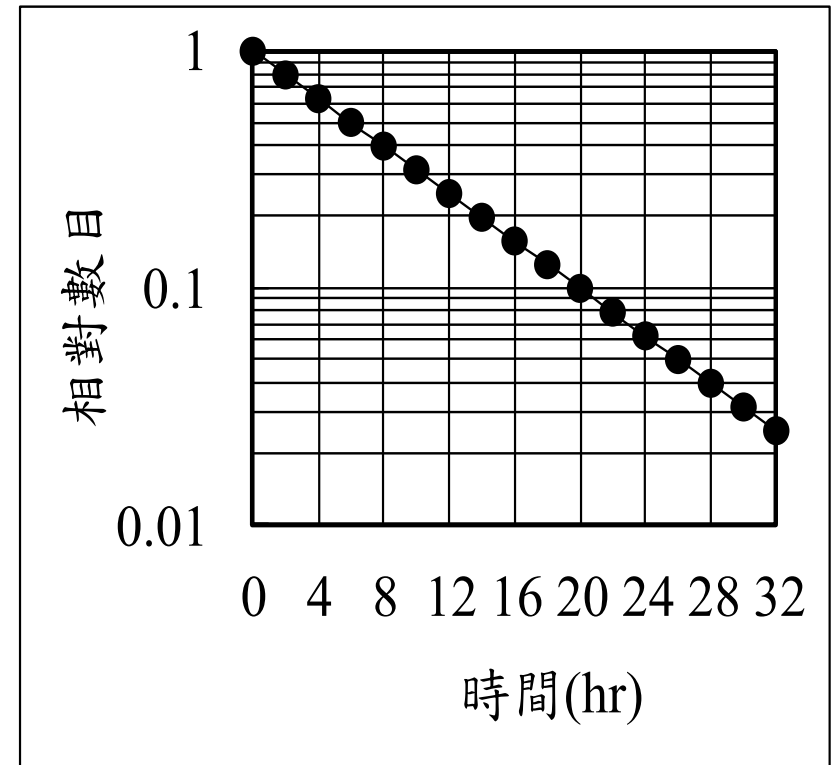
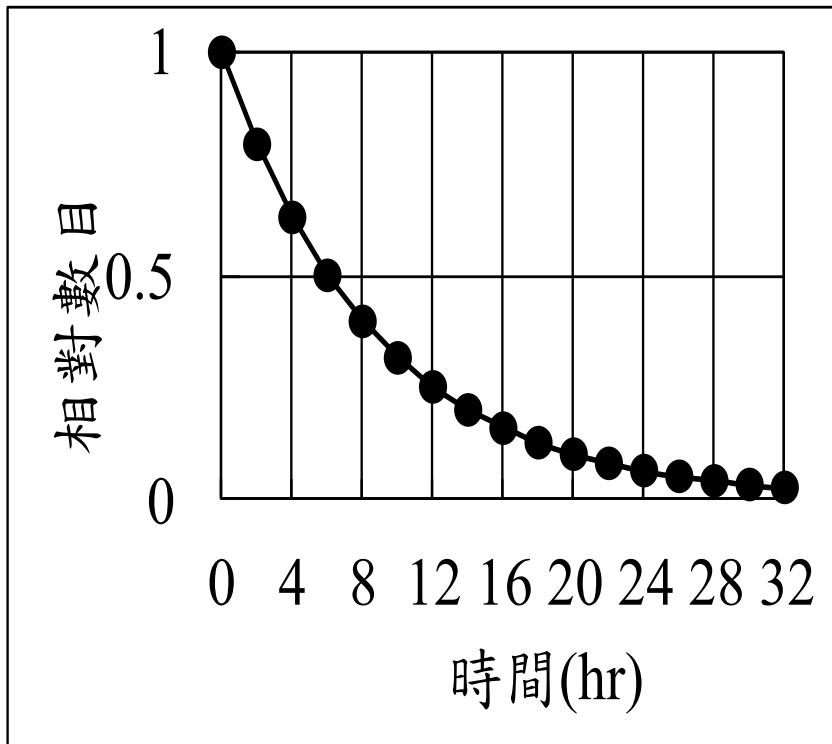


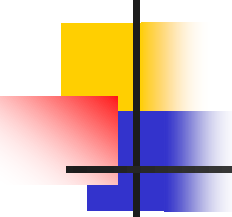
活度(Activity)

- 活度：定量放射性物質的危險性。
- 活度(A)： $A = \lambda N$ ，其中 λ 為衰變常數， N 為放射性核種的原子數。
- 活度：指一定量之放射性核種在某一時間內發生之自發衰變數目。某射源一秒內若有一放射性原子衰變，其活度稱為1貝克(Becquerel, Bq)。
- 居里(Curie, Ci)：活度的傳統單位，定義為1 g ^{226}Ra 的活度。 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。

原子數目隨時間成指數減少

$$N/N_0 = e^{-\lambda t} = (1/2)^N$$



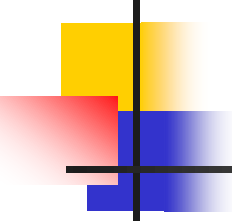


體外曝露輻射防護(1/2)

TSD原則

- T: time (與時間成正比)
- S: shielding [屏蔽，若以N個半值層屏蔽，劑量將降為原來的 $(1/2)^N$]
- D: distance (與距離平方成反比)

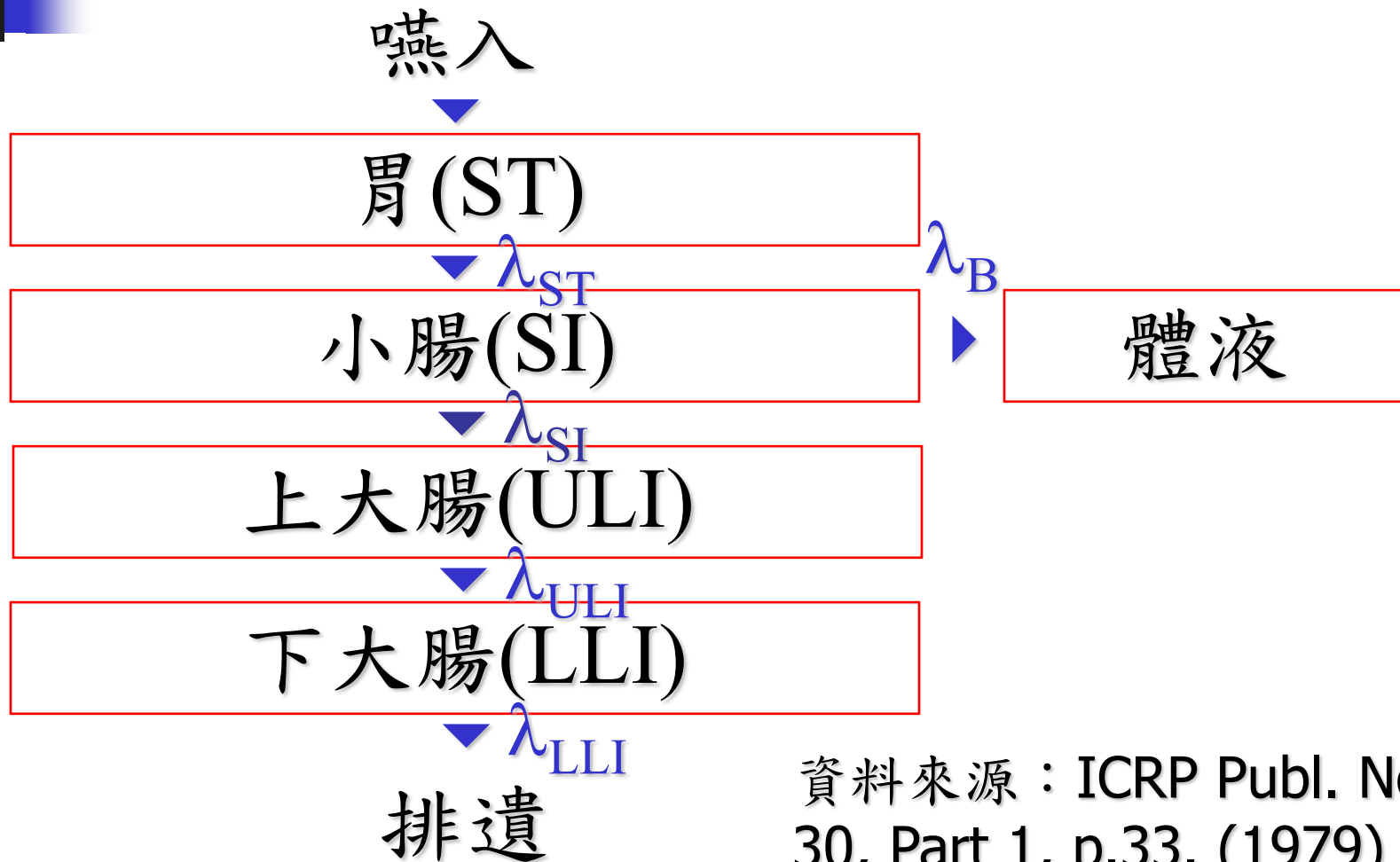
TSD原則指儘量減少體外曝露時間，使用輻射屏蔽與增加距射源距離。



體外曝露輻射防護(2/2)

- 操作放射性物質時，活度與體外劑量成正比，故應遵循**TSDD**原則。
- 第二個**D**指 decay(衰變)，每經過一個半化期，放射性物質的活度減半，體外劑量減半。
- 若經過N個半化期，活度(體外劑量)降為原來的 $(1/2)^N$ 。

體內曝露危險性(1/3)



資料來源：ICRP Publ. No. 30, Part 1, p.33. (1979)

體內曝露危險性(2/3)

部位	隔室	類別					
		D		W		Y	
		T(d)	F	T(d)	F	T(d)	F
N-P (D_{N-P} =0.30)	<i>a</i>	0.01	0.5	0.01	0.1	0.01	0.01
	<i>b</i>	0.01	0.5	0.40	0.9	0.40	0.99
T-B (D_{T-B} =0.08)	<i>c</i>	0.01	0.95	0.01	0.5	0.01	0.01
	<i>d</i>	0.2	0.05	0.2	0.5	0.2	0.99
P (D_P =0.25)	<i>e</i>	0.5	0.8	50	0.15	500	0.05
	<i>f</i>	-	-	1.0	0.4	1.0	0.4
	<i>g</i>	-	-	50	0.4	500	0.4
	<i>h</i>	0.5	0.2	50	0.05	500	0.15

資料來源：ICRP Publ. No. 30, Part 1, p. ii. (1979)

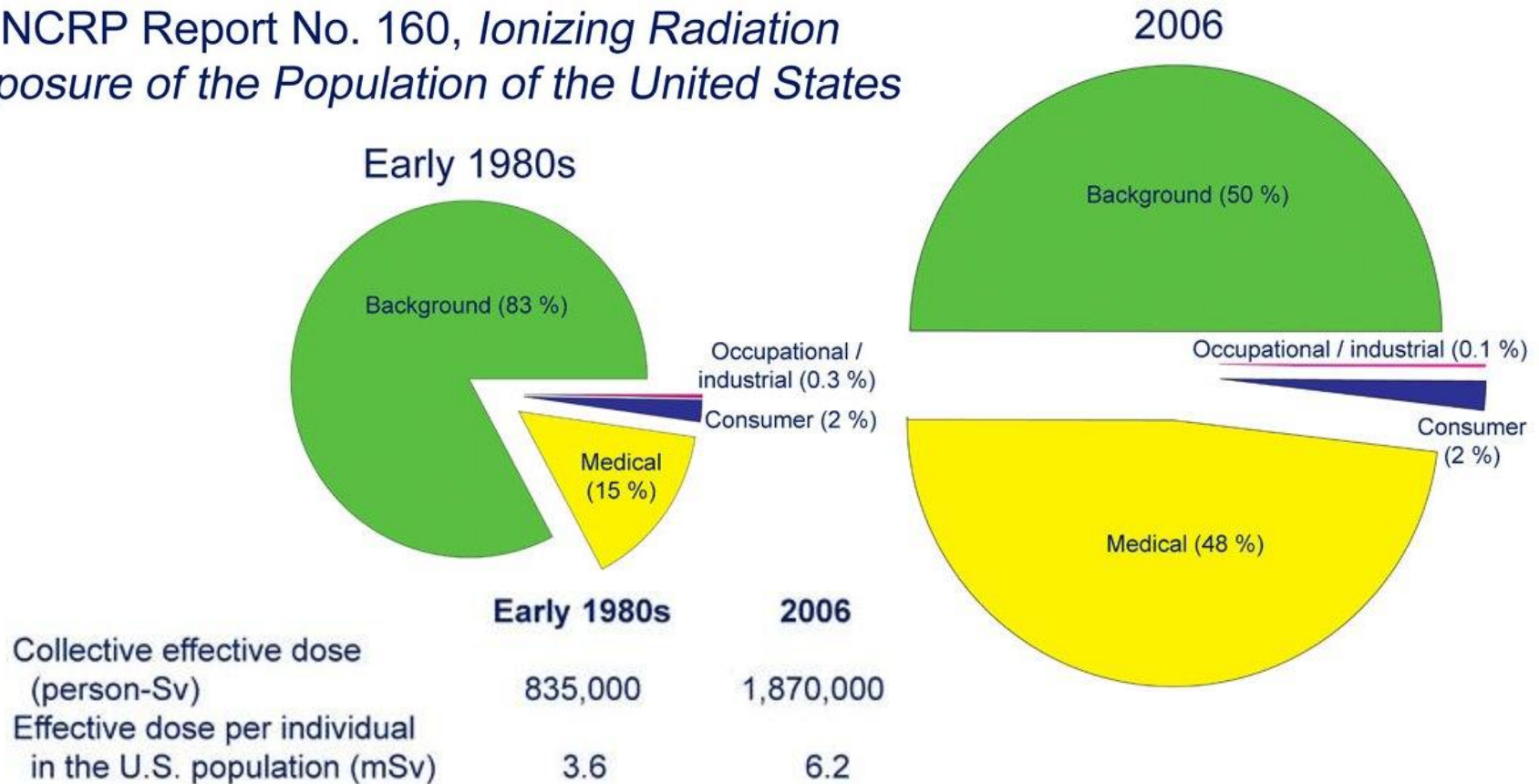
體內曝露危險性(3/3)

附表三之一 輻射工作人員吸入及嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， $h(g)$ (西弗/貝克， $Sv \cdot Bq^{-1}$) -- 1

核種	物理半 化期	吸入途徑				嚥入途徑	
		類別	f_1	$h(g)_{1\mu m}$	$h(g)_{5\mu m}$	f_1	$h(g)$
氫(Hydrogen)	12.3年					1.000	1.8×10^{-11}
氚水 (Tritiated Water)	12.3年					1.000	4.2×10^{-11}
有機結合氚 (OBT)	12.3年					1.000	4.2×10^{-11}
鈹(Beryllium)							
Be-7	53.3天	M	0.005	4.8×10^{-11}	4.3×10^{-11}	0.005	2.8×10^{-11}
		S	0.005	5.2×10^{-11}	4.6×10^{-11}		
Be-10	1.60×10^6 年	M	0.005	9.1×10^{-9}	6.7×10^{-9}	0.005	1.1×10^{-9}
		S	0.005	3.2×10^{-8}	1.9×10^{-8}		

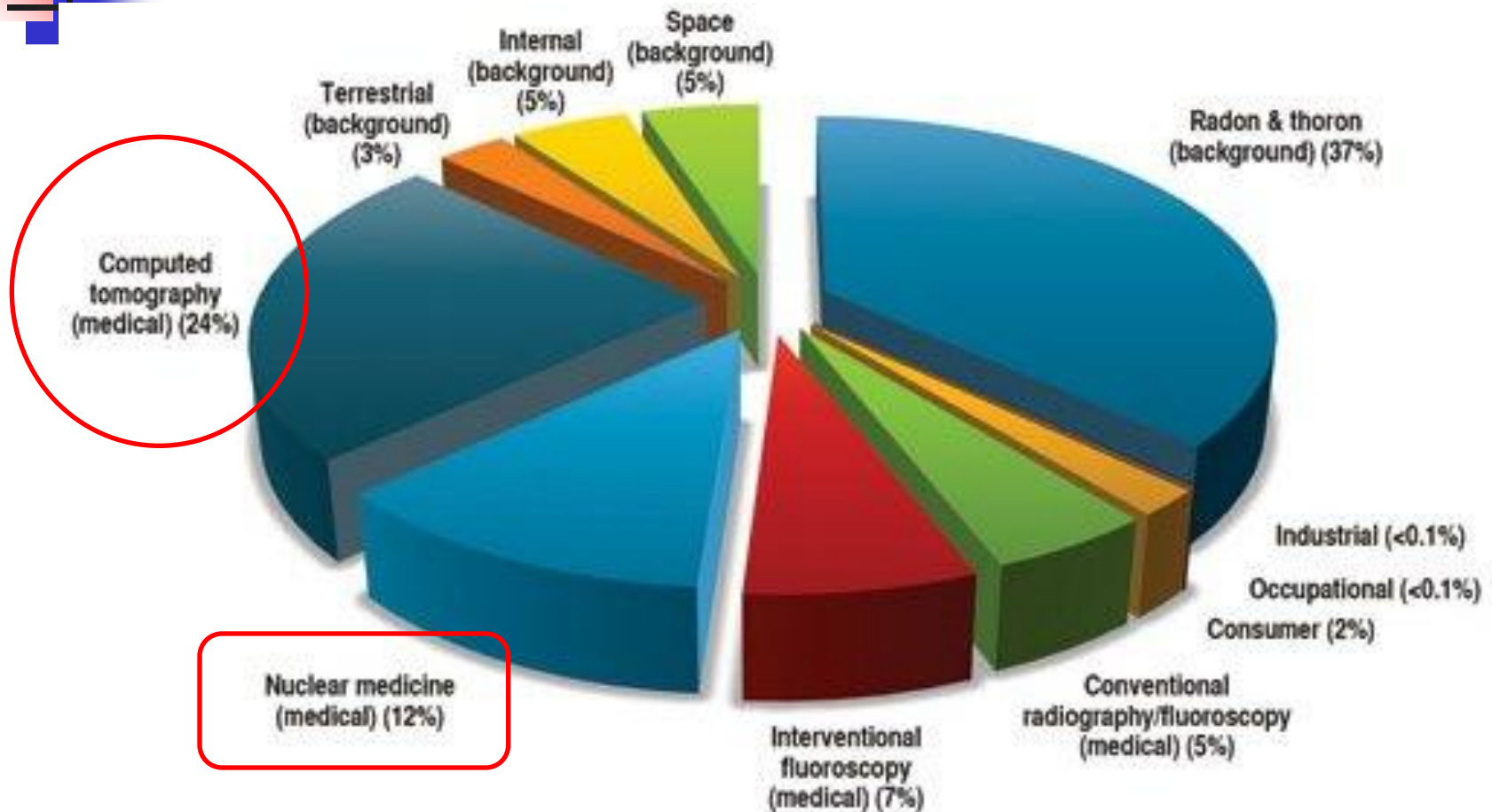
醫療輻射檢查曝露(1/2)

NCRP Report No. 160, *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States*

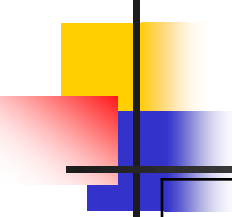


資料來源: <http://hothardware.com/News/US-Population-Radiation-Exposure-On-The-Rise/>

醫療輻射檢查曝露(2/2)



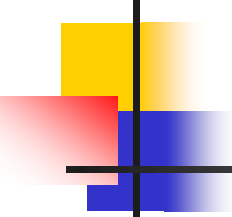
資料來源: http://fanaticcook.blogspot.tw/2011_04_01_archive.html



台灣的背景輻射(不含人為輻射)

來 源	年有效劑量(毫西弗)	
	台 灣	全球平均
宇宙射線	0.25	0.38
宇宙射線產生核種	0.01	0.01
地表體外曝露	0.64	0.46
地表體內核種曝露	0.28	0.23
氦222	0.44	1.20
合 計	1.62	2.4

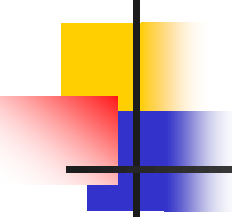
資料來源：陳清江等，物理雙月刊，23(3): 433. (2001)



輻射源

輻射源(radiation source)：指產生或可產生游離輻射之來源，包括**放射性物質**、**可發生游離輻射設備**或**核子反應器(nuclear reactor)**。

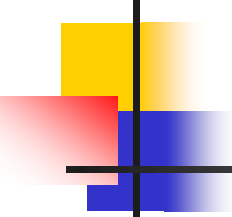
- **放射性物質**：指可經由自發性核變化釋出游離輻射之物質。
- **可發生游離輻射設備**：指核子反應器設施以外，用**電磁場**、**原子核反應**等方法，產生游離輻射之設備。
- **核子反應器**：謂具有適當安排之核子燃料，而能發生原子核分裂之自續連鎖反應之任何裝置。



粒子加速器

粒子加速器 (particle accelerator)：利用電場來加速帶電粒子使之獲得高能量。

- **電子加速器** (betatron)：電子束焊機用於焊接，電子加速器用於表淺部腫瘤治療。
- **直線加速器** (linear accelerator, Linac)：帶電粒子在直線中加速。常見的直線加速器將加速後的電子撞擊陽極靶，用以產生X光。
- **迴旋加速器** (cyclotron)：常用以加速原子核，此高能重荷電粒子可應用於半導體的離子佈植、腫瘤治療、放射性核種的製造。



中子源

- 自發核分裂：

Ex: ^{252}Cf 、 ^{244}Cm 、 ^{232}U 、 ^{238}Pu 等

- 反應器(誘發核分裂)：

Ex: $^{235}\text{U} + 1\text{ n} \rightarrow ^{236}\text{U} \rightarrow ^{131}\text{I} + ^{102}\text{Y} + 3\text{ n}$

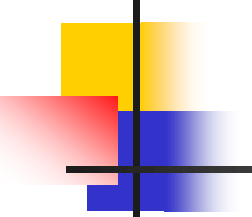
能量自數keV至超過10 MeV，平均2 MeV

- 光中子源(X或 γ , n)：

Ex: $^{24}\text{NaBe}$ 、 $^{116}\text{InBe}$ 等

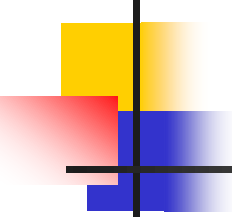
- 迴旋加速器(例如(p, n))與(α , n)中子源：

Ex: $^3\text{H}(\text{d}, \text{n})^4\text{He}$ 、 $^9\text{Be}(^4\text{He}\text{或}\alpha, \text{n})^{12}\text{C}$ 等



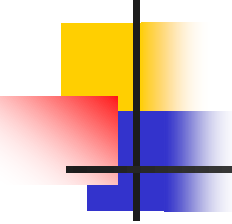
游離輻射

- 游離輻射(簡稱輻射)：指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。
- 廣義而言，輻射可分為游離輻射(如 α 、 β 、 γ 、中子等)與非游離輻射(如紫外線、可見光、微波等)；狹義而言，則指游離輻射。(註：一般分子、原子的游離能約小於15 eV，化學鍵能約為1-5 eV)。
- 通常，輻射能量大於10 keV者，較具有實務上應用價值。



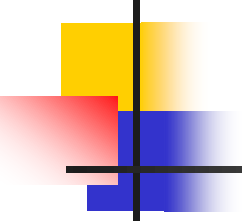
游離輻射

- 依輻射線的游離物質特性，亦可簡單區分為能造成物質**直接游離**(指荷電粒子，如 α 、 β 等)與**間接游離**(指電中性輻射線，如X、 γ 、中子等)的輻射線。
- 依輻射線的產生方式(來源)，另可簡單區分為**原子輻射**(指來自核外者，如X光)與**核輻射**(指來自核內者，如 α 、 β 、 γ 等)的輻射線。



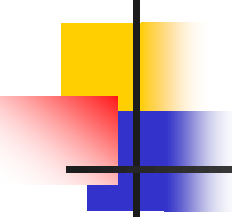
輻射線與物質的作用

- 重荷電粒子：例如 α ，**游離**(含激發)。
- 輕荷電粒子：例如 β ， δ ，**游離**(含激發)為主要釋能方式，少量因**產生制動輻射**釋能。
- 光子： X 與 γ ，以**光電效應**、**康普吞散射**、**成對發生**等方式產生 δ 射線。
- 中子：高能量中子的**彈性碰撞**，產生回跳核；高能量中子的**非彈性碰撞**，發生核反應；低能量中子的**中子捕獲**，形成放射性核種或釋出 γ 。



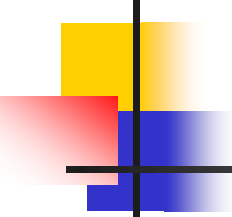
直接作用與間接作用

- **直接作用**：輻射線自身或其生成的二次高能粒子(如二次電子射線、回跳核)直接作用於生物分子，所造成的效應。
- **間接作用**：輻射線自身或由其生成的二次高能粒子，先作用於介質分子(如水分子)上，使之成為化學活潑的產物(如自由基、過氧化氫、水合電子等)，此產物再繼續作用於生物分子，所造成的效應。
- 以X射線言，約**2/3**的生物效應源於**間接作用**，**1/3**的生物效應源於**直接作用**；反之， α 射線造成的生物效應，則以直接作用為主。



DNA斷裂與染色體變異

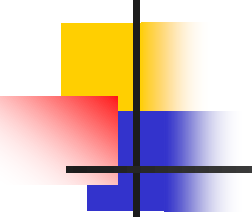
- DNA單股斷裂，通常可經由以另一股作為模版而被修補。
- 輻射誘發DNA斷裂後，若重新接合時發生錯誤，將導致染色體變異。常見的染色體變異為雙中心結(dicentrics)、後期橋(anaphase bridges)、環(rings)、無中心結(acentrics)、異位(translocation)、缺失(deletions)等。
- 染色體變異中，雙中心結與環較易觀察，其數目(Y)與劑量(D)成正比，可具以作為生物劑量計。通常， $Y = \alpha D + \beta D^2$ ， α 與 β 為常數。



線性能量轉移與相對生物效應

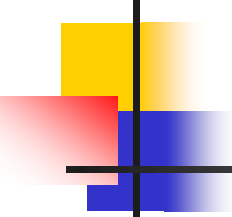
- **線性能量轉移(LET)**用以度量游離輻射能量轉移至軟組織(水)的速率，單位為keV/μm。水中某LET值的游離輻射，其造成某生物效應的能力，為LET的函數。**相對生物效應**(relative biological effectiveness, RBE)即用以描述此待測游離輻射相對於標準輻射(250 kVp X射線)造成某生物效應的能力：

$$RBE = \frac{\text{標準輻射產生某一效應所需的劑量}}{\text{待測輻射產生相同生物效應所需的劑量}}$$



劑量率效應

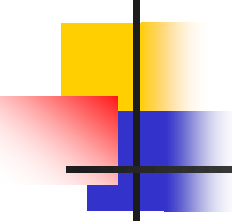
- 以適當時間(約 ≥ 1 小時)將一劑量分成二分次劑量(fractionated dose)時，細胞殘存將因細胞進行次致死傷害(sublethal damage)修補而增加。
- 低劑量率輻射照射較高劑量率者，細胞殘存也會因次致死傷害修補而增加。此現象稱為劑量率效應。
- 前述次致死傷害修補造成的效應，以DDREF (dose and dose-rate effectiveness factor)值量化，此值約為2。



Bergonie和Tribondeau定律

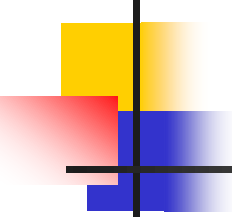
組織的輻射敏感度依下列特性而定：

- 幹細胞是輻射敏感的；細胞愈成熟，它對輻射的抗性也愈高。
- 組織或器官愈年輕，它對輻射的敏感度也愈高。
- 組織或器官代謝活力愈高，它對輻射的敏感度也愈高。
- 當細胞的增殖速率或組織的生長速率增加，它對輻射的敏感度也會增加。



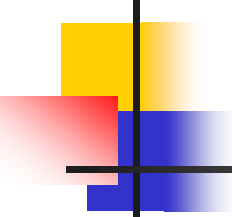
細胞週期與輻射敏感度

- 哺乳動物細胞週期分為有絲分裂期(M)、第一生長期(G_1)、DNA合成期(S)與第二生長期(G_2)。細胞質分裂期與 G_0 期此處不討論。
- 一般細胞於 G_2 與M期對輻射最敏感，於S期的晚期對輻射最具抗性。
- 某低劑量率照射時，細胞內的分子檢查點(molecular checkpoint)基因啟動，細胞停留在 G_2 期(G_2 block)，此細胞將較高劑量率者敏感，此現象稱為反劑量率效應。



氧效應

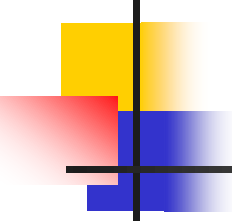
- **氧氣增強比值** (oxygen enhancement ratio, **OER**)指同一種輻射在缺氧與有氧的狀態下，產生相同生物效應所需劑量的比值。
- OER與LET成反比：X射線於高劑量時的OER約為3；LET增至160 keV/ μm 時，OER為1(無氧效應)。
- 缺氧時，間接作用造成的傷害有可能被修補，因此，氧氣可固定(fix)自由基造成的傷害，即使自由基造成的傷害不被修補。



輻射致死急性全身效應

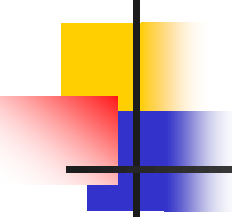
急性輻射症候群可分為三類，依嚴重性的增加，其順序為：

- **造血組織症候群**：全身3-8 Gy劑量，照射3週後因欠缺血液元素(血球)死亡。
- **腸胃系統症候群**：全身約10 Gy劑量，照射後約9天因腸胃道上皮細胞受損而死亡。
- **中樞神經系統症候群**：全身約100 Gy劑量，照射後30-50小時因腦部微血管通透性改變而死亡。



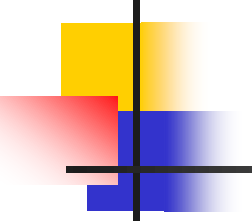
低劑量時之劑量－反應曲線

- 高劑量時，一反應之嚴重性(或發生機率)顯著，劑量與該反應間之相關性極易於觀察，具統計意義。
- 低劑量時反應不顯著，劑量與反應間之相關性不具統計意義，不易獲得具體結論。常從高劑量時之反應，外插(推測)至零劑量時之反應。
- 為解釋低劑量時劑量與反應間之相關性，可依據理論與經驗之不同，有多種外插方式敘述；但此類模型仍應保守(存疑)看待。



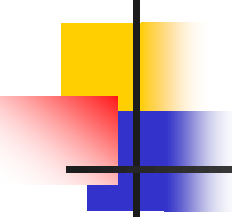
線性無閾值假說

- **線性無閾值**(LNT, linear non-threshold)假說：
機率效應的發生機率與所受劑量大小成比例增加，此種效應之發生無劑量之低限值。
- 理論基礎：(1)流行病學數據，(2)高劑量時效應的發生機率與所受劑量大小成比例增加現象，外插至低劑量，(3)輻射防護保守觀念。
- **合理抑低**：應儘一切合理之努力，以維持輻射暴露在實際上遠低於法定之劑量限度。



激效效應

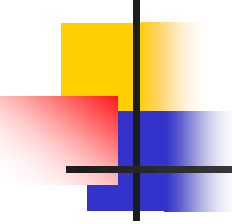
- 洛基(Luckey T. D.)博士於1980年發表了激效效應(hormesis)假說，他認為生物體施以天然輻射劑量數倍到近百倍的低劑量輻射，會產生抑制老化、抑制癌症、提昇免疫機能、促進發育和成長、增加對疾病的抵抗力等多種有益的效果；進而主張「我們無法提出任何顯著的證據，證明所有輻射均為有害，因此，我們應該放棄所有輻射均為有害的理論」。



輻射之健康效應

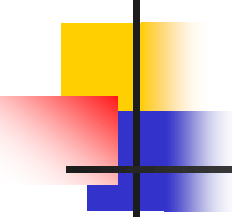
「游離輻射防護安全標準」第2條第9款定義，輻射之健康效應區分如下：

- ➡ **機率效應**(stochastic effect)：指致癌效應及遺傳效應，其發生之機率與劑量大小成正比，而與嚴重程度無關，此種效應之發生無劑量低限值。
- ➡ **確定效應**(deterministic effect)：指導致組織或器官之功能損傷而造成之效應，其嚴重程度與劑量大小成比例增加，此種效應可能有劑量低限值。



吸收劑量(D)

- $D = dE_{ab}/dm$
- dE_{ab} 為質量為 dm 的某一物質內接受輻射之平均能量。
- 單位為戈雷(gray, Gy)。
一千克(kg)質量物質吸收一焦耳(J)能量為一戈雷。



等價劑量(H_T)

- $H_T = \sum D_{T,R} W_R$ [單位為西弗(Sievert, Sv)]
- 等價劑量指器官劑量與對應**輻射加權因數**乘積之和，輻射 R 在組織或器官 T 中產生的等價劑量 H_T 是組織或器官 T 中的平均吸收劑量 $D_{T,R}$ 與輻射加權因數 W_R 的乘積。
- 輻射加權因數 W_R 指為輻射防護目的，代表各種輻射之**相對生物效應**。

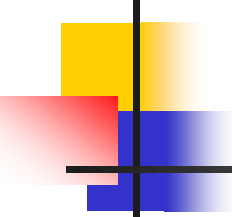
輻射加權因數

輻射種類與能量區間	輻射加權因數 W_R
所有能量之光子	1
所有能量之電子及 μ 介子	1
中子能量<10千電子伏(keV)	5
10千電子伏(keV) - 100千電子伏(keV)	10
>100千電子伏(keV) - 2百萬電子伏(MeV)	20
>2百萬電子伏(MeV) - 20百萬電子伏(MeV)	10
>20百萬電子伏(MeV)	5
質子(回跳質子除外)能量>2百萬電子伏(MeV)	5 [*]
α 粒子，分裂碎片，重核	20

*ICRP(國際放射防護委員會)-103報告(2007年)建議值為2

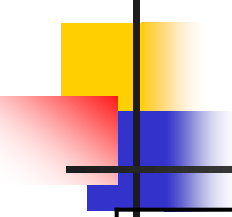
有效劑量(effective dose, E)

- $E = \sum H_T \times W_T$ [單位為西弗(Sv)]
- 有效劑量指人體中受曝露之各組織或器官之等價劑量與各該組織或器官之**組織加權因數**乘積之和。
- 其中，組織加權因數 W_T 指為輻射防護目的，用於以各組織或器官等價劑量 H_T 計算有效劑量之修正因數。此一因數係考慮不同組織或器官對輻射曝露造成**機率效應之敏感度**而訂定。



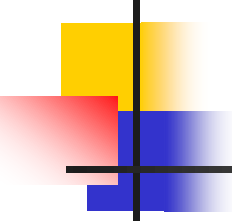
組織加權因數

組織或器官	組織加權因數 W_T	組織或器官	組織加權因數 W_T
性腺	0.20	肝	0.05
骨髓	0.12	食道	0.05
結腸	0.12	甲狀腺	0.05
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
膀胱	0.05	其餘組織 或器官	0.05
乳腺	0.05		



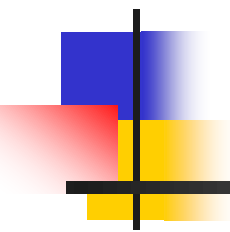
組織加權因數(ICRP-103)

組織或器官	組織加權因數 W_T	組織或器官	W_T
胃	0.12	食道	0.04
肺	0.12	肝	0.04
結腸	0.12	膀胱	0.04
紅骨髓	0.12	皮膚	0.01
乳腺	0.12	骨表面	0.01
其餘組織或器官	0.12	腦	0.01
性腺	0.08	唾液腺	0.01
甲狀腺	0.04	全身	1

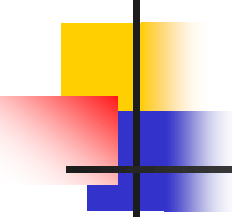


ICRP-60號報告的危險度

健康損害	輻射工作人員 (10^{-2} Sv^{-1})	一般人 (10^{-2} Sv^{-1})
致命癌症	4.0	5.0
非致命癌症	0.8	1.0
嚴重遺傳變異	0.8	1.3
總計	5.6	7.3



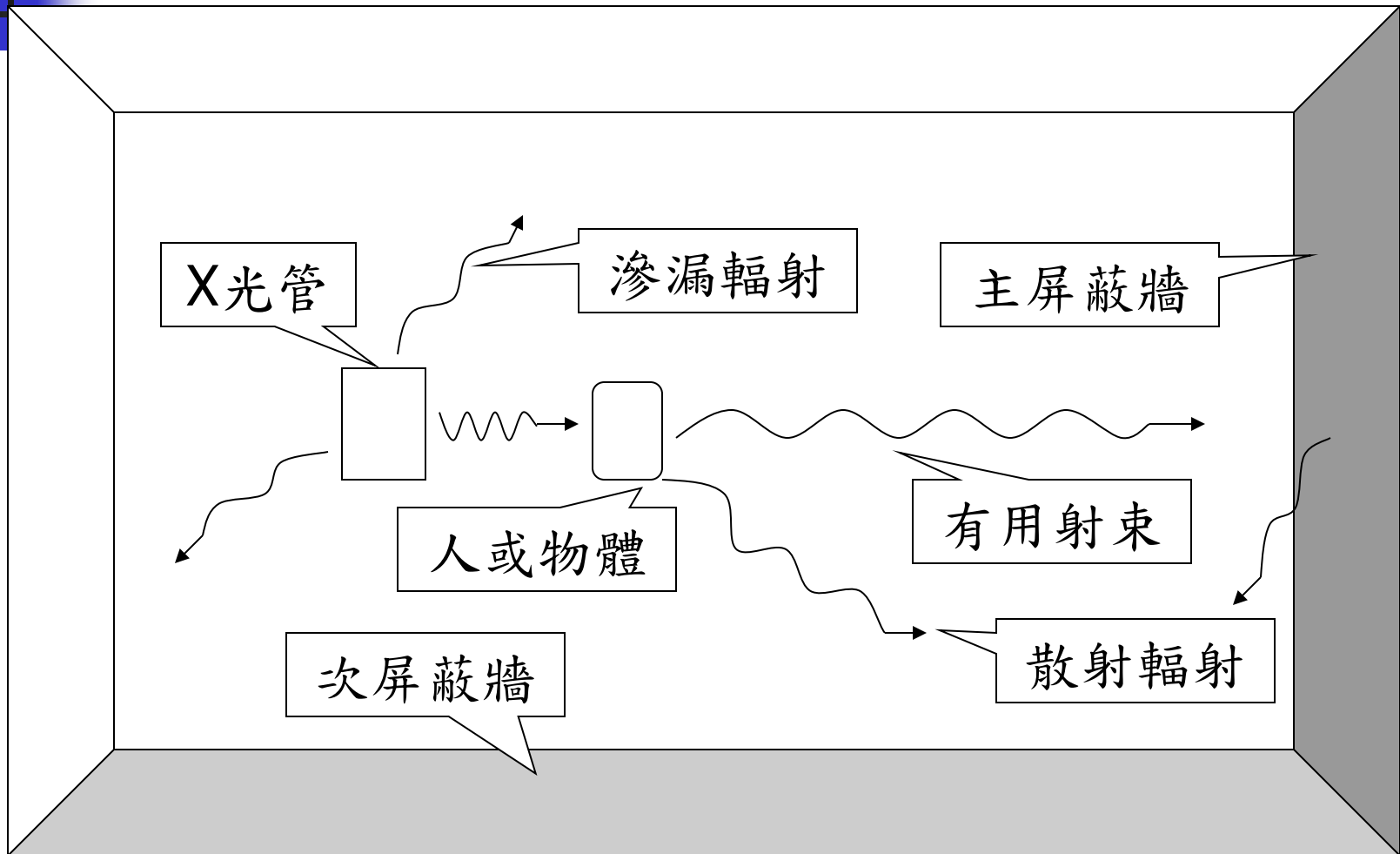
輻射防護

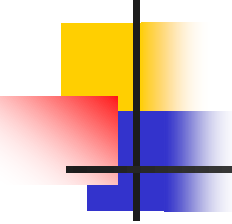


可發生游離輻射設備

- 游離輻射：指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。
- 高能電磁輻射：即光子，如X、 γ 。
- 高能粒子輻射：主要指(1)重荷電粒子，如離子射束、 α ，(2)輕荷電粒子，如電子射束、 β ，與(3)中子。
- 可發生游離輻射設備：指核子反應器設施以外，用電磁場、原子核反應等方法，產生游離輻射之設備。

有用射束、散射輻射、滲漏輻射





半值層數目與光子衰減

- $I/I_0 = e^{-\mu x} = (1/2)^N$ ；其中，N代表欲使窄射束光子強度降為 I/I_0 所需半值層(HVL)數目。
- $I/I_0 = e^{-\mu x} = e^{-(0.693/\text{HVL}) x} = e^{-0.693 x/\text{HVL}}$
 $\therefore I/I_0 = e^{-0.693 x/\text{HVL}} = e^{-0.693 N}$
 $\ln(I/I_0) = -0.693 N$
 $N = -\ln(I/I_0)/0.693$

主防護屏蔽之設計

$$K = \frac{Pd^2}{WUT}$$

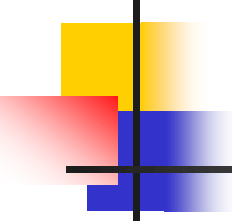
P : 最大許可曝露率，管制區為 0.04 R wk^{-1} ，非管制區為 0.002 R wk^{-1}

d : 屏蔽牆與X光管間之距離(m)

W : 工作負載，X光機管電流(mA) 與每週操作時間(min wk^{-1})之乘積，單位為 mA min wk^{-1}

U : 使用因數，X光機有用射柱朝向主屏蔽方向的時間分率

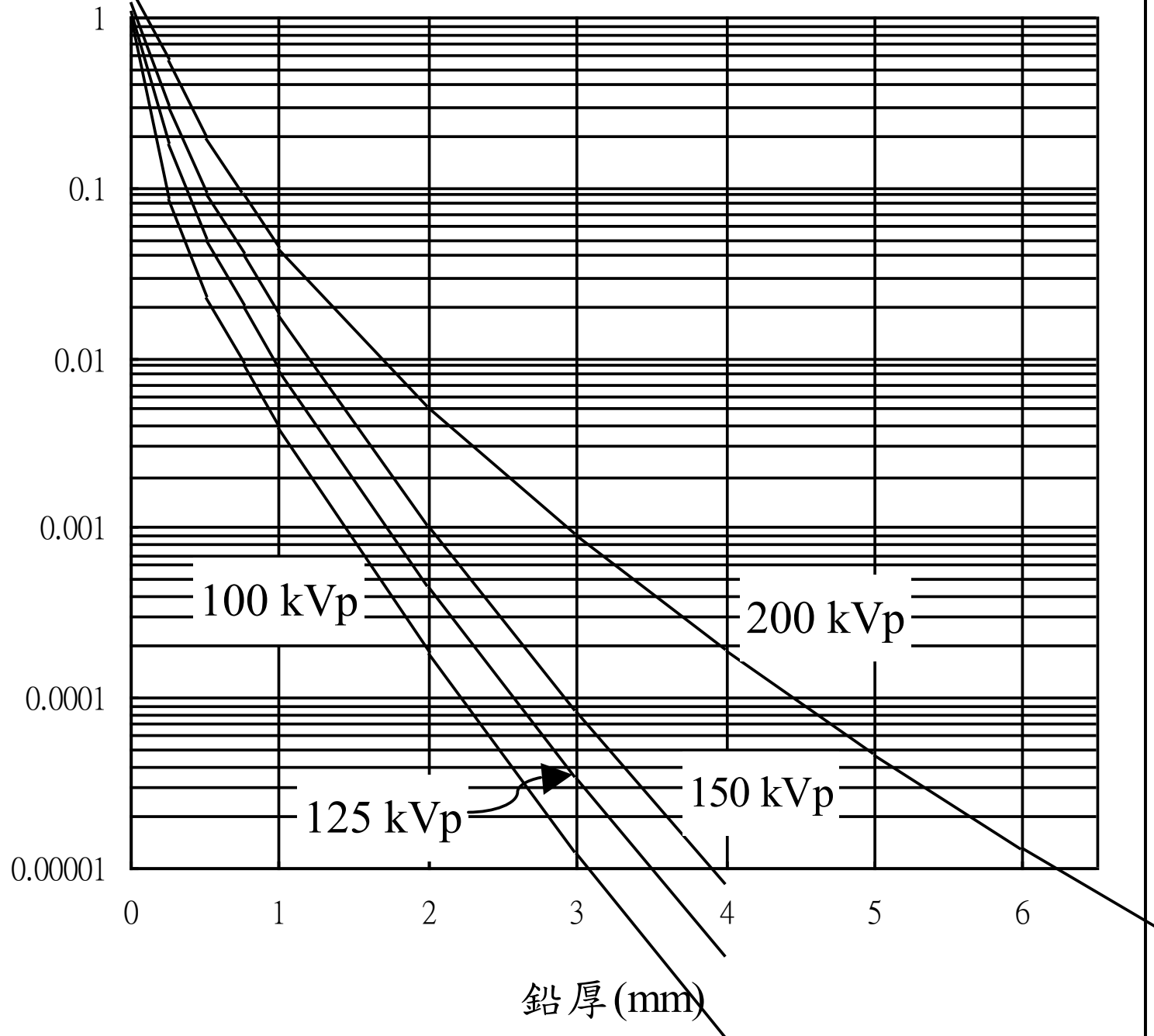
T : 佔用因數，屏蔽牆外人員平均逗留時間分率

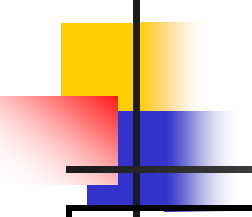


主防護屏蔽之設計

- K值也稱為穿透(或降低)因數，是使輻射線初曝露率降至最大許可曝露率之因數。K值單位為 $R \text{ m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 或 $R \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ at } 1 \text{ m}$ 。
- 通常空氣1 R暴露，人體為10 mSv曝露。
- 單能量光子半值層數(N)與穿透因數(X/X_0 或K)之相關式為 $K = (1/2)^N$ 。
- X光為多能量光子，穿透因數為K時所需屏蔽厚度不易計算，通常以查圖(經驗)方式求得，此圖通常為一半對數座標圖。

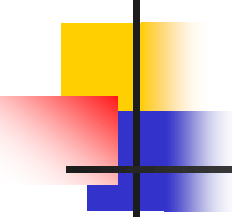
$K \text{ (R mA}^{-1} \text{ min}^{-1}) \text{ 1 m處}$





佔用因數

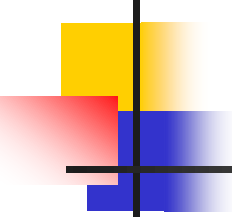
完全佔用 $T = 1$	工作區域，如辦公室、實驗室、商店、護理站等；活動空間，如兒童遊戲間；臨近建築物的佔用空間等
部份佔用 $T = 1/4$	走廊、休息室、有操作員的電梯等
偶爾佔用 $T = 1/16$	等候室、廁所、樓梯、無操作員的電梯等



美國放射防護委員會(NCRP)

147號報告(2005)建議

- 診斷與治療X光機屏蔽設計不同。
- 週劑量約束管制區由0.4 mSv改為每X光機0.1 mSv；非管制區仍為每X光機0.02 mSv。
- 距離：由X光機至屏蔽距離，改為X光機至樓上0.5 m後、隔牆0.3 m後、樓下地面1.7 m高處。
- 電壓：由單一值(太保守)改為分布值。
- 使用因數視攝影室分類詳訂。
- 佔用因數改為1、1/2、1/5、1/8、1/20、1/40。
- 考慮前屏蔽(檯、柵、匣等)的屏蔽效果。

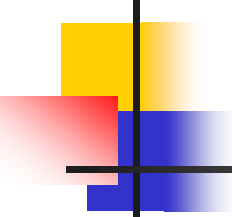


不同建材間屏蔽厚度的換算

密度法：

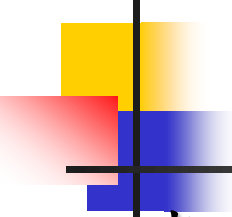
原子序近似的二不同建材，可利用密度法作厚度的換算，例如混凝土密度為 2.35 g cm^{-3} ，瓷磚密度為 1.9 g cm^{-3} ，則 10 cm 混凝土的屏蔽能力，約等於 $10 \text{ cm} \times 2.35 / 1.9 = 12.4 \text{ cm}$ 瓷磚的屏蔽能力。

屏蔽阻擋光子的能力，約與其原子序成平方或立方成正比，當建材間原子序差異較大時，此法的換算方式則誤差太大，不宜採用。



商用建材的平均密度

建材	密度(g cm ⁻³)	建材	密度(g cm ⁻³)
混凝土	2.35	鉛	11.4
軟磚	1.65	鉛玻璃	6.22
硬磚	2.05	沙灰泥	1.54
包裝土	1.5	鋼	7.8
花崗石	2.65	瓷磚	1.9

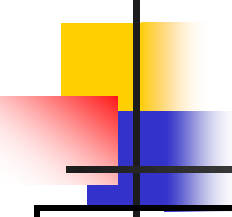


不同建材間屏蔽厚度的換算

半值層法：

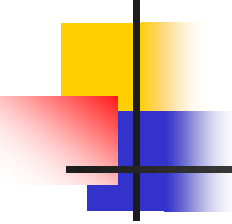
原子序差異較大的二不同建材，可利用半值層法作厚度的換算，例如以300 kVp X光為例，混凝土半值層為3.1 cm，鉛半值層為1.47 mm，則10 cm混凝土的屏蔽能力，約等於 $10/3.1 = 3.23$ HVLs，即 $3.23 \times 1.47 \text{ mm} = 4.74 \text{ mm}$ 鉛的屏蔽能力。

於是，常用建材的厚度，欲換算成鉛的厚度時，通常須先以密度法換算成混凝土的厚度，再以半值層法換算成鉛的厚度。



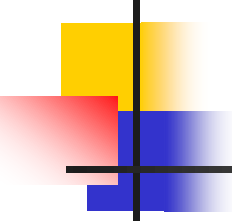
X光機鉛與混凝土的半值層

電壓巔值(kVp)	鉛半值層(mm)	混凝土半值層(cm)
50	0.06	0.43
70	0.17	0.84
100	0.27	1.6
125	0.28	2.0
150	0.30	2.24
200	0.52	2.5



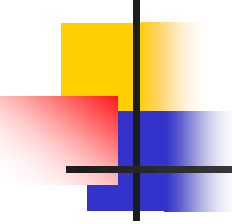
密封放射性物質

- 定義：密封在包殼或緊密覆蓋層裡的放射性物質。
- 該包殼或覆蓋層應具有足夠的強度，使之在設計上的使用條件和正常磨損下，不會有放射性物質散失出來。
- 非破壞檢驗所用放射性物質，可能因為工作性質或疏忽緣故遺失。



非密封放射性物質的特點(1/2)

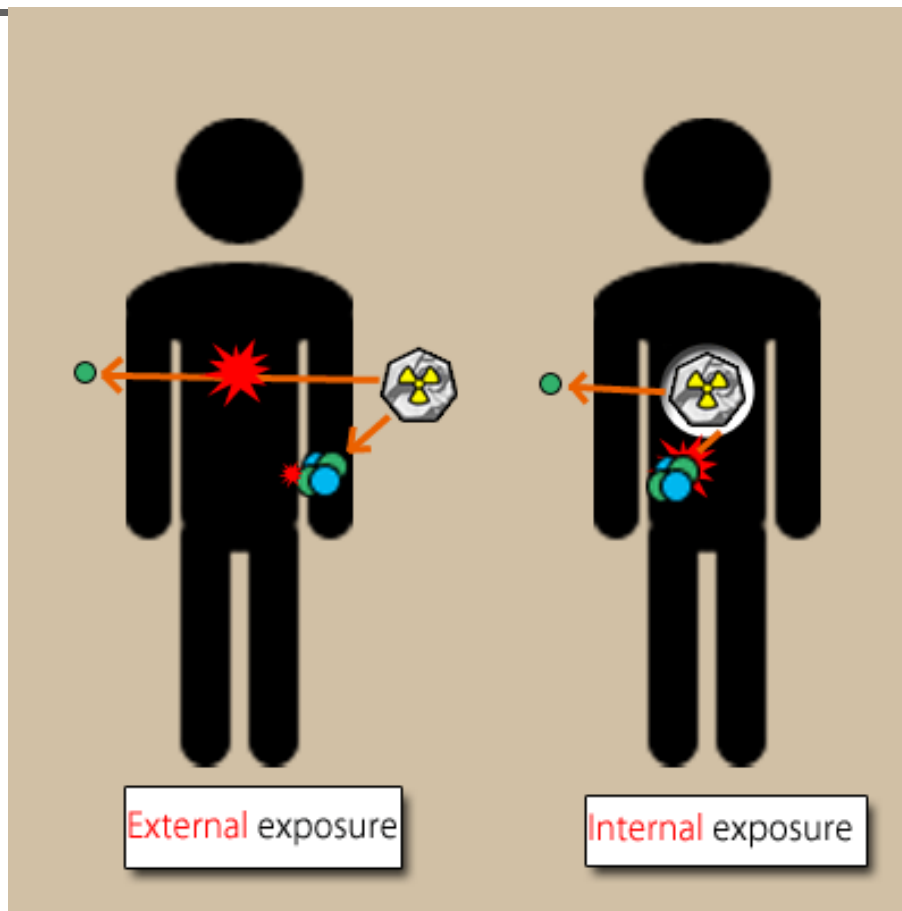
- 使用或操作過程中，其物理化學性質可能變化，如加溫時固體可變成液體，液體又可變成氣體。
- 放在容器中的放射性物質，當容器損壞時液體氣體就有漏出擴散之虞，使操作過程中的輻射危險性增加。
- 放射性物質攝入人體內而使體內受輻射照射時，稱為體內曝露。



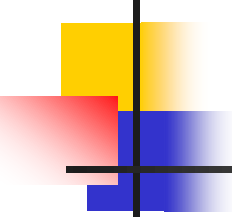
非密封放射性物質的特點(2/2)

- 放射性物質未攝入體內，但存在於周圍環境時，就構成體外曝露。
- 體內曝露：某些 α 與 β 放射核種，常侷限於體內的一定組織器官，因高能量轉移而造成較大的生理危害。
- 體外曝露：某些 α 與 β 放射核種因穿透力小，故體外曝露較不嚴重。體外曝露則須特別注意高穿透力的 γ 放射核種。

體外與體內曝露

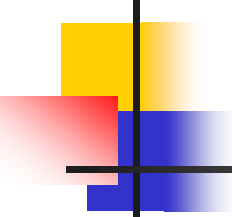


<http://contest.japias.jp/tqj14/140053/top/kiso/img/e-hibakuzu.gif>



密封放射性物質種類

- 以種類區分，計有阿伐、貝他、加馬、中子和低能量光子射源。
- 以幾何形狀區分，有點狀、線狀、面狀、圓柱狀、圓環狀。
- 以活度的精確度區分，有核對級(check)、操作級、參考級、標準級等不同級別的放射性物質。
- 以用途作區分，有醫學應用、工業程序控制用、工業照相用、加馬照射用、輻射儀表用、離子發生器用、放射測量用。

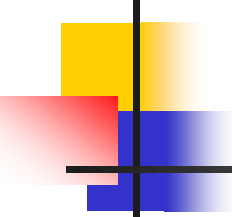


阿伐射源的防護

- 避免密封層震裂、摔壞、受酸鹼腐蝕。
- 經常檢查射源的外表有無阿伐放射性污染。
- 強活度阿伐射源常伴隨放射其他輻射，故須考慮其他輻射的防護。
- 防止遺失和被盜，不可隨便拆開或丟棄。

空氣	水(組織)	鋁	銅	鉛
59,000	74	34	14	2

7MeV 阿伐粒子的射程(μm)

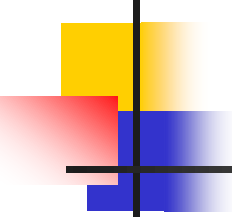


貝他射源的防護

- 貝他射源的內層包封材質或屏蔽應選用低原子序的材料，可減少制動輻射的產率。
- 射源窗的厚薄與貝他射線的能量有關，使用時應避免射源窗被刺破、磨損、腐蝕、震裂。
- 定期檢查射源的外表有無貝他放射性污染。

水(組織)	壓克力	玻璃	鋁	銅
3.9mm	3.2mm	1.8mm	1.1mm	0.2mm

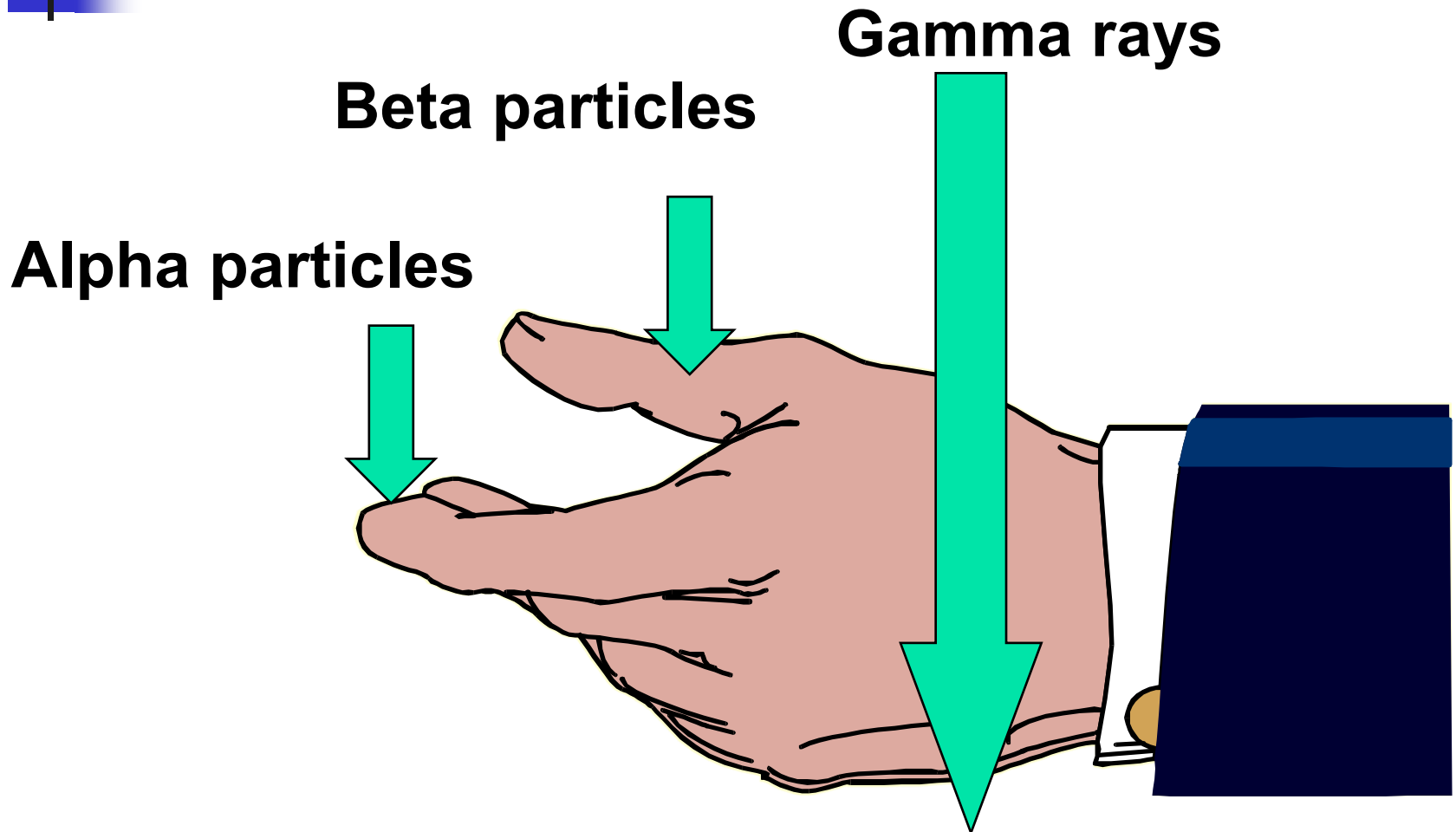
1MeV 貝他射線的射程

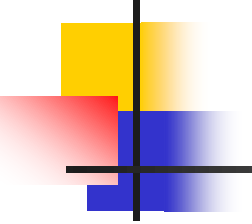


加馬射源的防護

- 加馬射線穿透力甚強，使用加馬射源要注重體外曝露的防護。
- 除符合TSD原則外，尚須注意：
 - 建立監測區和管制區
 - 適當的屏蔽：鉛或混凝土
 - 執行輻射監測
 - 設置連鎖保全系統
 - 建立保管、貯存和運送的程序

體外曝露的防護

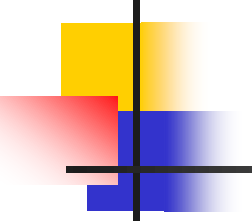




體內曝露的輻射防護

預防形成放射性污染的2C措施：

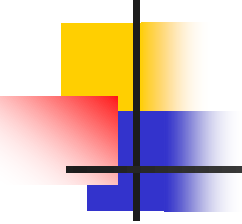
- **封閉(Contain)**：使放射性物質不與人體直接接觸。例如收納於容器、使用手套工具箱(glove box)等。
- **集中(Concentrate)**：集中管理，以預防分散放射性物質易造成的疏忽。例如實施放射性物質保管、將放射性物質濃縮後貯存等。



體內曝露的輻射防護

已形成放射性污染時的3D原則：

- **稀釋(Dilute)**：將受放射性污染的空氣或水稀釋至可接受範圍，然後排放。
- **分散(Disperse)**：將放射性污染的物質由空氣或水域加以分散。
- **除污(Decontaminate)**：對人體或物體遭受的放射性污染，利用各種除污方法，使附著的放射性污染減少。



體內曝露的輻射防護

若放射性核種已進入體內，降低體內曝露的處置方式：

- 減少吸收：例如皮膚除污、洗胃等。
- 增加排泄：例如大量液體補充、服用鈣片、碘化鉀、利尿劑等。
- 防止滯留：例如服用螯合劑等。

正當化判斷(1/8)

Doctor, don't you think I should have a new chest CT scan? Just to be on the safe side



No Ms Williams, I really think that this examination will not add something to the correct assessment of your condition

不，小姐，我不認為新的檢查會對你的情形增加評估的資訊。

醫生，基於安全考量，你認為我應該做一新的胸部電腦斷層？

Resist patient wishes to be examined when you feel it is not necessary

若認為檢查沒必要，應拒絕病患檢查的要求。

正當化判斷(2/8)

COUNTERTHINK 雙向思考

我應按下
何按鍵？

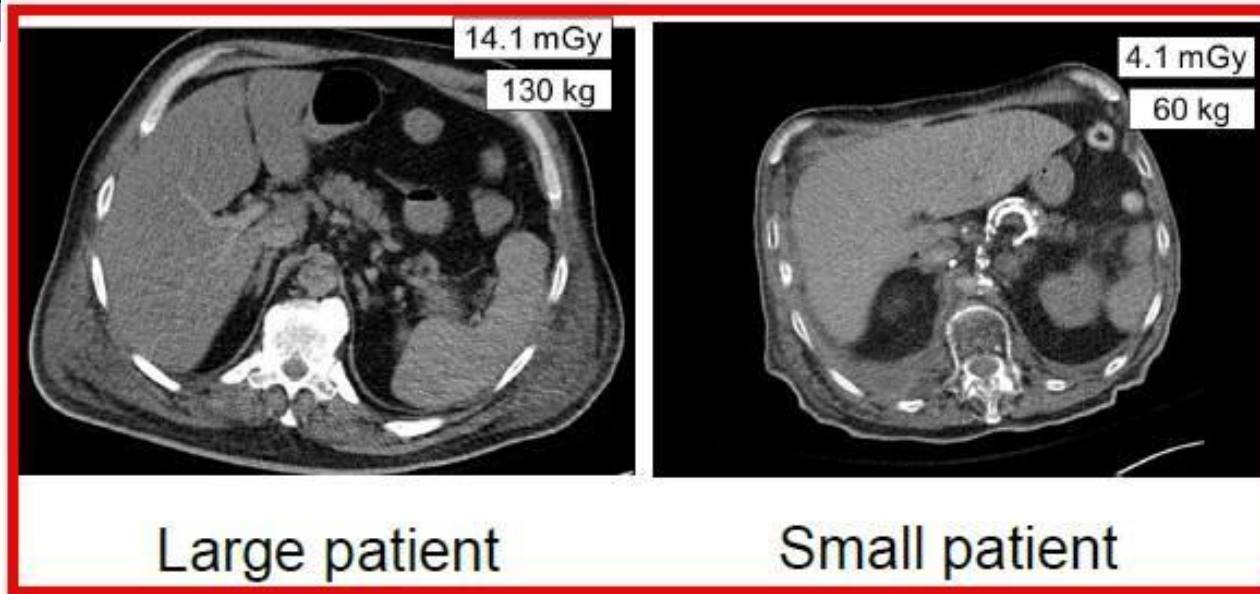


我們通常
都按下去。

癌症造成
篩檢癌症

乳攝儀5000
控制台

正當化判斷(3/8)



大體型病患

小體型病患

**Adjust exposure parameters
according to patient and body part**

依病患體型
與檢查部位
調整曝露參數

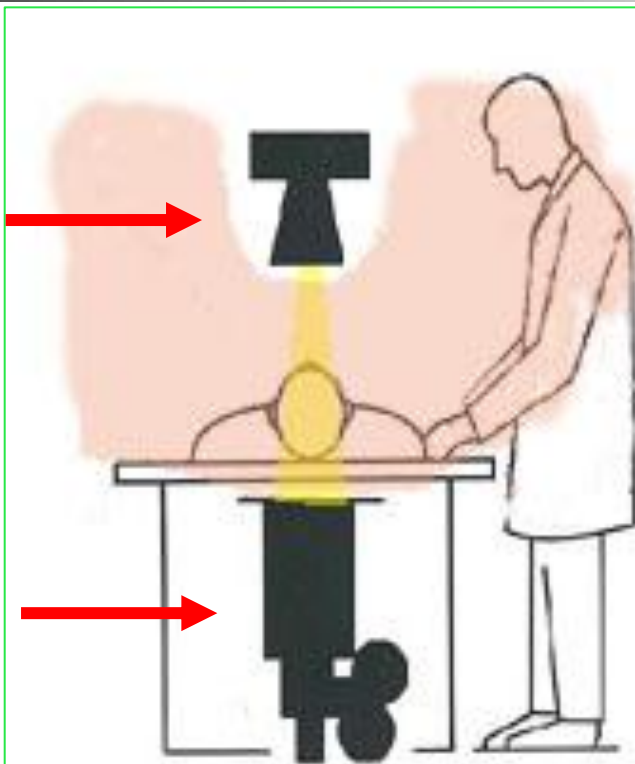
*Images courtesy of: MK Kalra, S. Singh, MGH Webster Center
for Advanced Research and Education in Radiation*

正當化判斷(4/8)

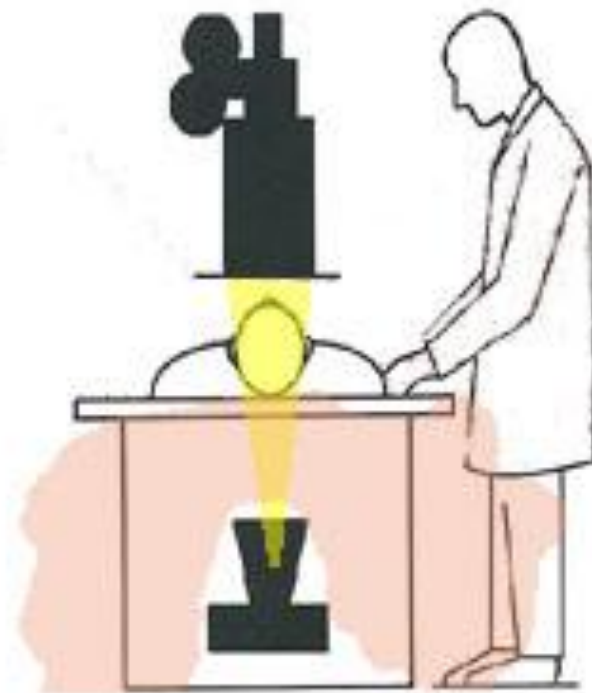
X光管

影像
接收器

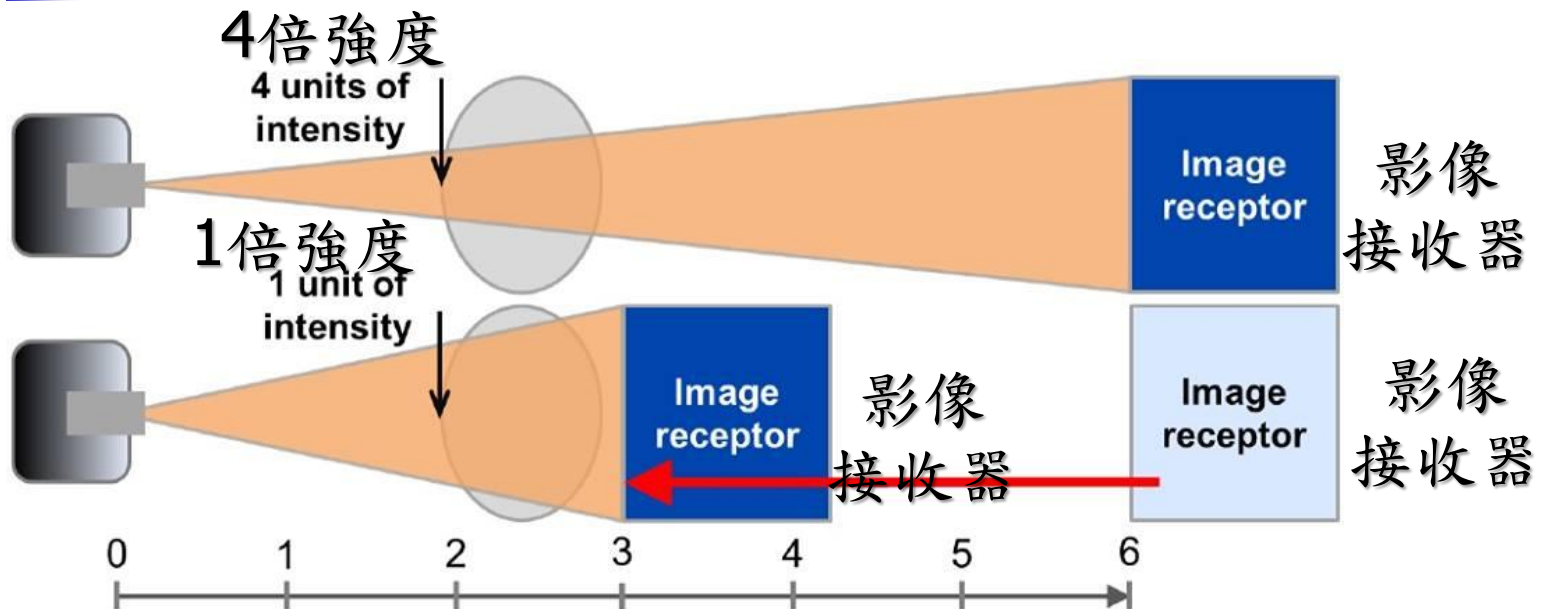
應避免 **Always Avoid!**



較佳 **Better Practice**



正當化判斷(5/8)



Minimize distance between the patient and the image receptor 影像接收器應儘量靠近病人

資料來源: The Radiation Protection of Patients (RPOP), the International Atomic Energy Agency (IAEA)

正當化判斷(6/8)

影像
接收器

X光管

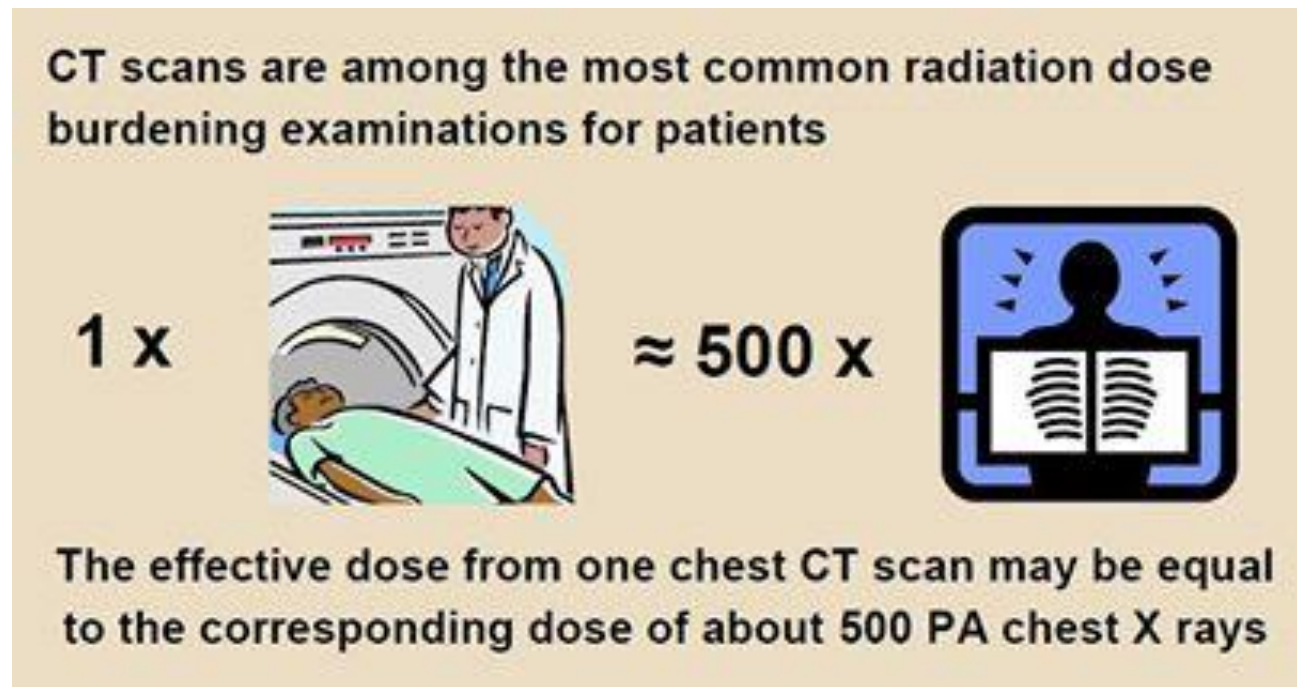
增加曝露與散射
產生的雜訊

Enhanced Exposure
More Noise from Scatter

較佳 Better Practice

正當化判斷(7/8)

電腦斷層通常是病患檢查中劑量最高者



一次胸部電腦斷層的有效劑量約等於
500次站立正面胸部(PA)X光檢查

正當化判斷(8/8)

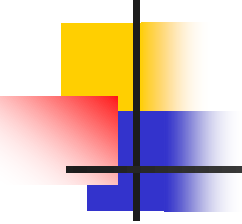


Tell me please:
Have you had any
other CT scans
recently?

請告訴我，你最近有
做其他斷層檢查？

**Repeat scanning of the patient to save
time because previous records are not
readily available is not part of a good
practice**

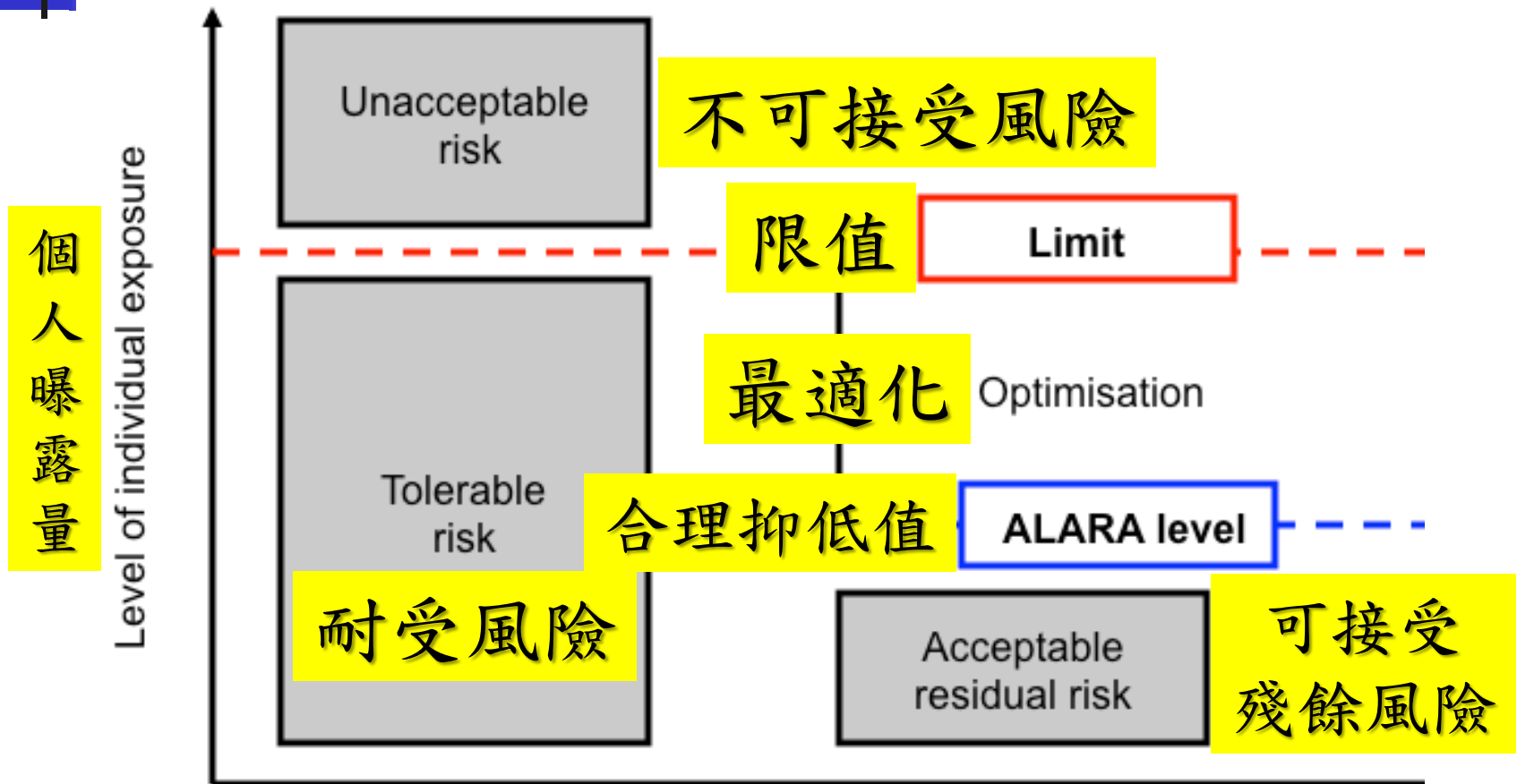
無法即刻取得前
次檢查資料，為
省時間重複檢查，
是不好的作法。



合理抑低

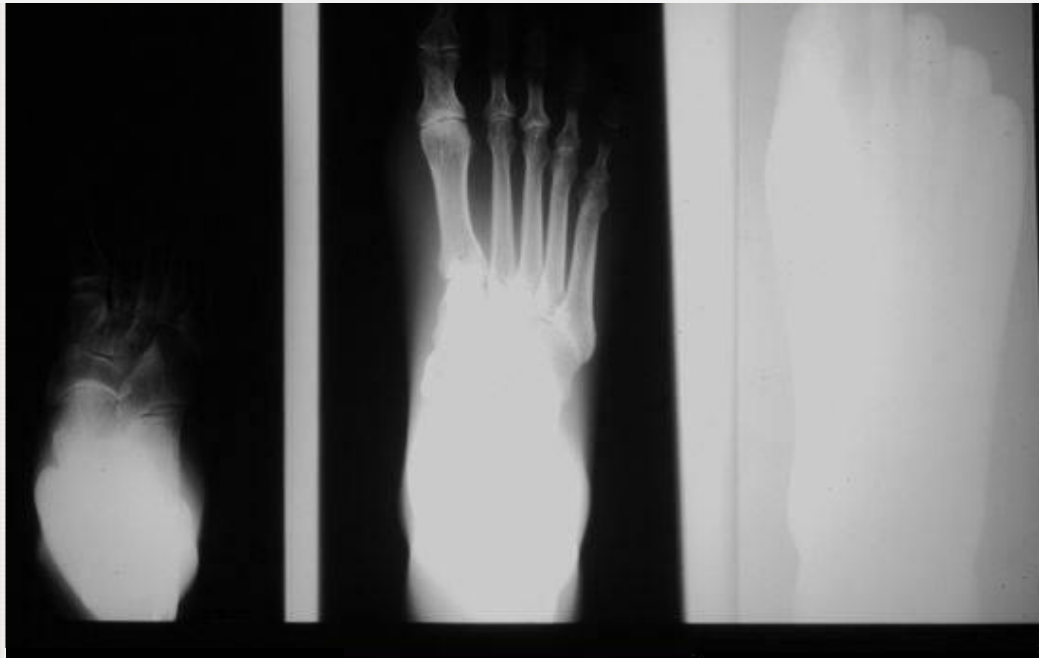
- **合理抑低**指盡一切合理之努力，以維持輻射曝露在實際上遠低於本標準之劑量限度。其**原則**為：
 - 一、 須符合原許可之活動。
 - 二、 須考慮技術現狀、改善公共衛生及安全之經濟效益以及社會與社會經濟因素。
 - 三、 須為公共之利益而利用輻射。

風險耐受的觀念



最適化(1/5)

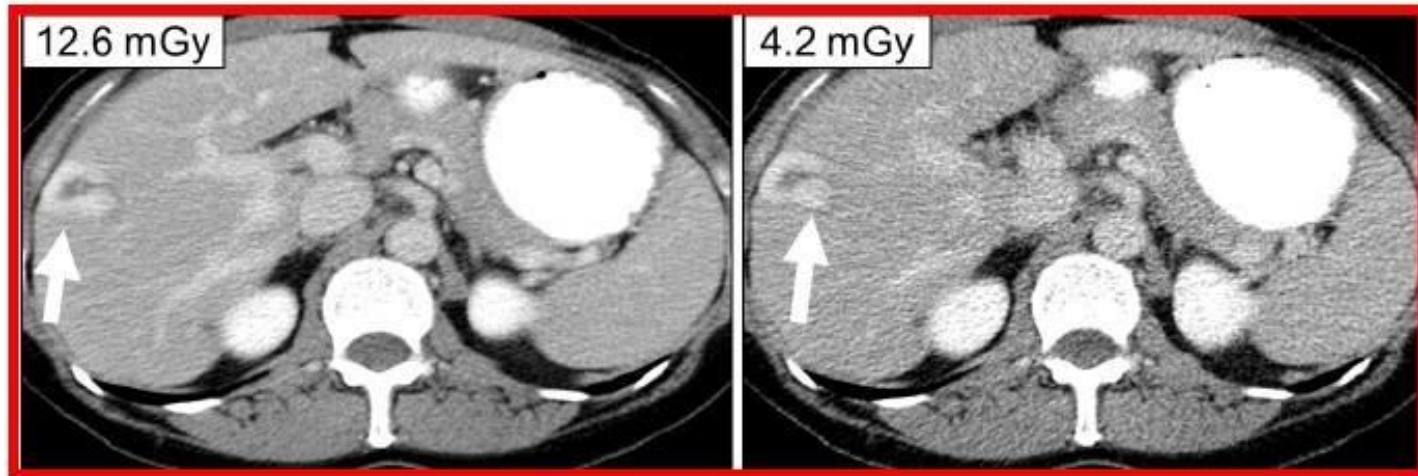
造影時，不佳的曝光條件，將造成不佳的螢幕影像



曝光不足

曝光過度

最適化(2/5)



影像品質：沒必要這麼高 影像品質：足夠診斷

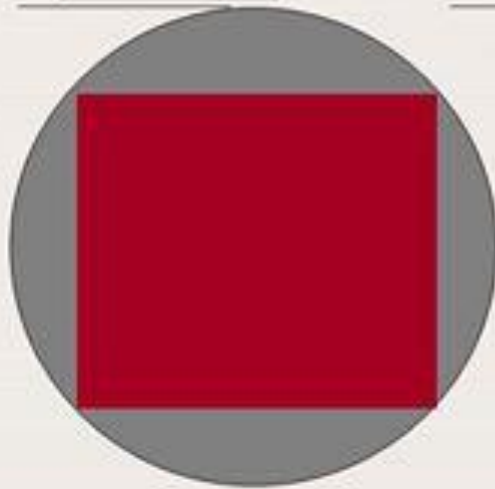
高影像品質雖然看起來很優，但會對病人造成較高劑量
應開始使用有些許雜訊，但不會損失影像資訊的影像

*Images courtesy of: MK Kalra, S. Singh, MGH Webster Center
for Advanced Research and Education in Radiation*

最適化(3/5)

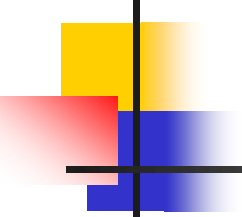
病患劑量-瞄準(collimation)

瞄準圓形內的方形區域，將減少36%劑量



$$\begin{aligned}\text{圓面積} &= \pi r^2 \\ \text{正方形面積} &= 2r^2 \\ \frac{(\pi r^2 - 2r^2)}{\pi r^2} &= 36\%\end{aligned}$$

其他曝光條件
不變



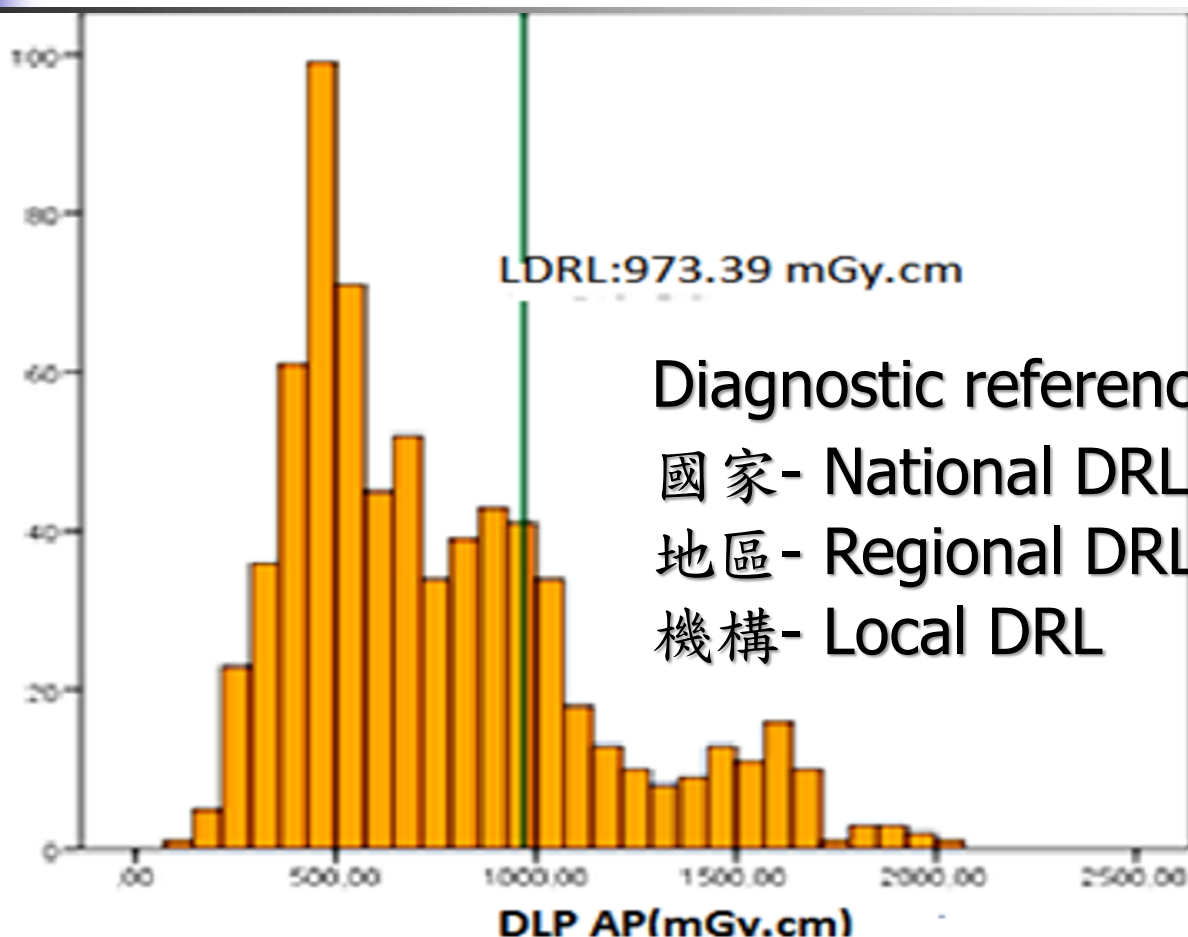
最適化(4/5)

類似電腦斷層檢查有效劑量差異

檢查部位	有效劑量(mSv)		
	最低	最高	比值
胸部	1.9	26.0	13.7
冠狀血管	1.0	31.8	31.8

Muhogora et al. **Patient doses** in CT examinations in **18 countries**: initial results from International Atomic Energy Agency projects. Radiat Prot Dosim 2009;136(2):118–26.

最適化(5/5)-診断劑量參考水平

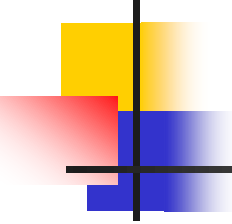


Diagnostic reference level, DRL

國家- National DRL

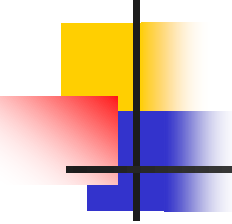
地區- Regional DRL

機構- Local DRL



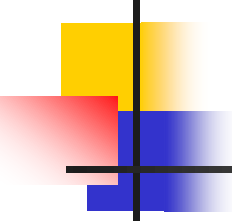
輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(1/3)

- 依規定設輻防組織(輻射防護管理委員會)或輻防人員，執行輻射防護管理業務，定期(至少6個月)開會，並留存紀錄備查。
- 已依「游離輻射防護法」修訂「輻射防護計畫」，且確實宣導與執行。
- 依規定對工作人員實施教育訓練(每年3小時)，並留存紀錄備查。



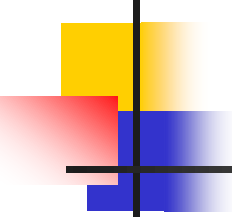
輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(2/3)

- 依規定對工作人員實施體格檢查及健康檢查，並依檢查結果為適當之處理，且留存紀錄備查。
- 依規定對工作人員實施劑量監測(體外、體內(有體內曝露之虞者))，並留存紀錄備查。
- 依規定進行地區劃分及管制。



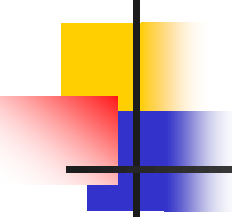
輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(3/3)

- 置備適當之輻射偵測或監測儀器，定期（每年）校驗，並留存紀錄備查。
- 定期實施輻射偵測及排放廢水分析，並留存紀錄備查。
- 已建立放射性物質、可發生游離輻射設備完整料帳紀錄且放射性污染物、廢棄物管理完善，並留存紀錄備查。



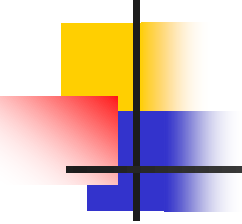
年度偵測項目法源依據

- 「游離輻射防護法」第32條第3項：...設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，**每年至少偵測一次...**。
- 行政院核能安全委員會92年9月1日公告：
「**領有許可證之放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施年度偵測項目**」。
- 行政院核能安全委員會93年3月10日公告：
「**非醫用可發生游離輻射設備、密封放射性物質(裝備)輻射安全測試報告**」。



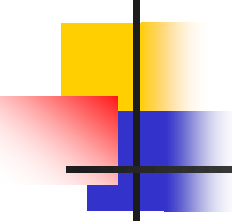
年度偵測證明

- 護管套外表面距靶一公尺處，不得超過有用射柱內中心軸上輸出劑量之千分之一，或X光管罩滲漏輻射**空氣克馬**小於0.87 mGy/h。
(非醫療用途設備免填)
- 管制區內操作人員或工作人居佔位置之**劑量率**最高不超過10 $\mu\text{Sv/h}$ 。
- 管制區外距任何可以接近四週障壁外表面30 cm處之**劑量率**最高不超過0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。
- **登記類**：「設備」正常使用時可接近表面5 cm處劑量率小於5 $\mu\text{Sv/h}$ 。



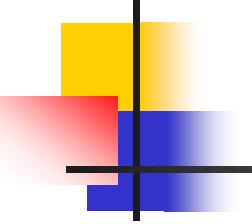
場所平面圖規劃內容

- 放射性物質或可發生游離輻射設備之位置描述及透視圖。
- 場所四周之狀況(含樓上、下)描述。
- 場所四周屏蔽材料及厚度。
- 主射束照射方向。
- 各進出大門位置。



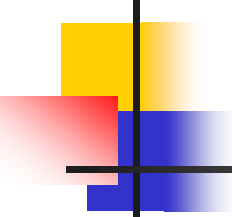
屏蔽規劃內容

- 鉛玻璃位置及鉛厚當量；無此規劃者免。
- 進出大門應安裝安全連鎖之位置。
- 進出大門應張貼輻射警示標誌及裝置警示燈之位置。
- 使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。



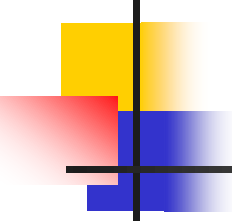
移動型規劃內容

- 放射性物質或可發生游離輻射設備之使用場所及場所四周描述。
- 主射束照射方向之描述。
- 使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。
- 設可移動式鉛防護屏蔽者，應註明屏蔽之鉛厚當量或其他相關防護措施。



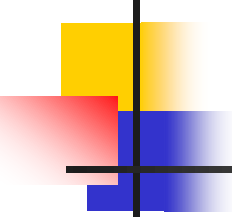
特殊規劃內容(1/2)

- 醫用之可發生游離輻射設備，於同一治療室或X光室裝置兩部或兩部以上，各設備間應置有切換開關。放射性物質不得於同一治療室或X光室裝置兩部或兩部以上。
- 高強度輻射設施之使用場所，應設置警報器、監視器、急停裝置及安全連鎖裝置。



特殊規劃內容(2/2)

- 醫用治療之放射性物質或可發生游離輻射設備，應於治療室中設置監視器及緊急停止等裝置。
- 移動型放射性物質或可發生游離輻射設備經常在同一地點使用者，應視為固定型。



輻射作業之輻射防護

輻射作業應防止**確定效應**之發生及抑
低**機率效應**之發生率，且符合下列規定：

1. 利益須超過其代價。(正當化)
2. 考慮經濟及社會因素後，一切曝
露應合理抑低。(最適化)
3. 個人劑量不得超過本標準之規定
值。(限制化)

輻射防護－ 輻射在醫、農、工的應用

講員：陳厚語

（輻專師字第0824號）

（醫放字第003360號）

訓練核准機關：行政院原子能委員會

核准字號：號

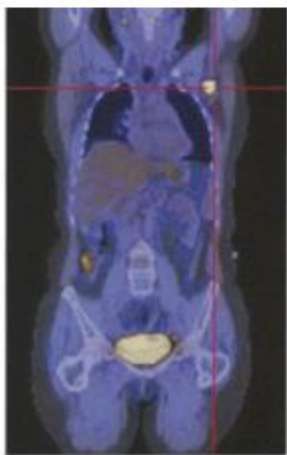
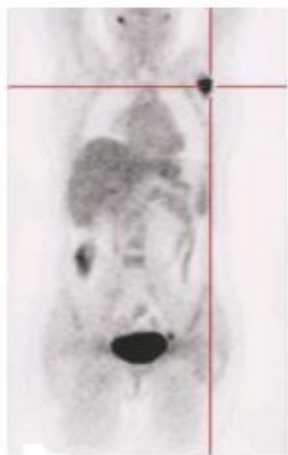
辦理訓練單位：

PART 1

輻射在醫學應用

輻射在醫學的主要應用

1. 放射診斷技術
2. 放射治療技術
3. 核子醫學技術
4. 其它應用...

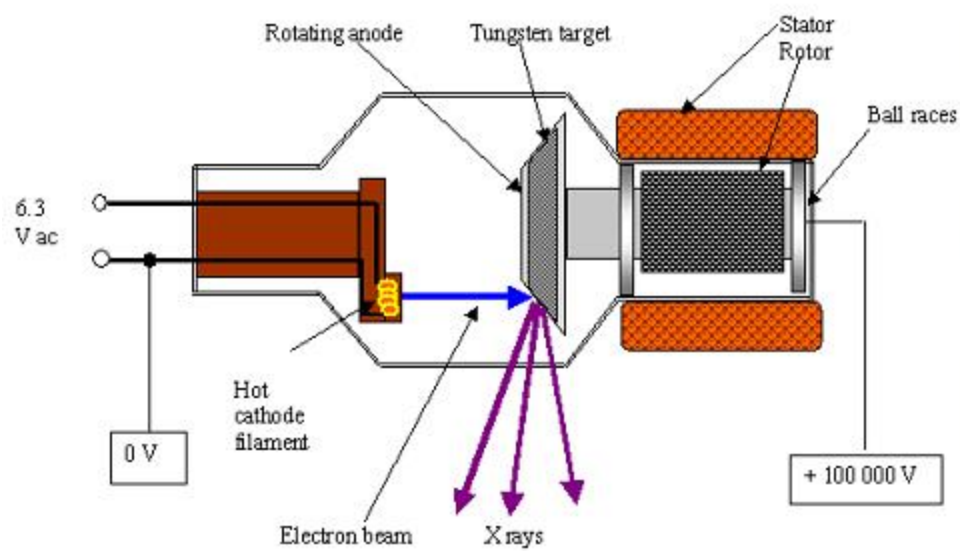


◆ X光起源

倫琴（Wilhelm Konrad Röntgen），德國實驗物理學家。1895年發現X射線又叫倫琴射線。它是一種高頻電磁輻射，它的頻率大於紫外光的頻率，但比射線的頻率小。



◆ X光管(X-ray tube)



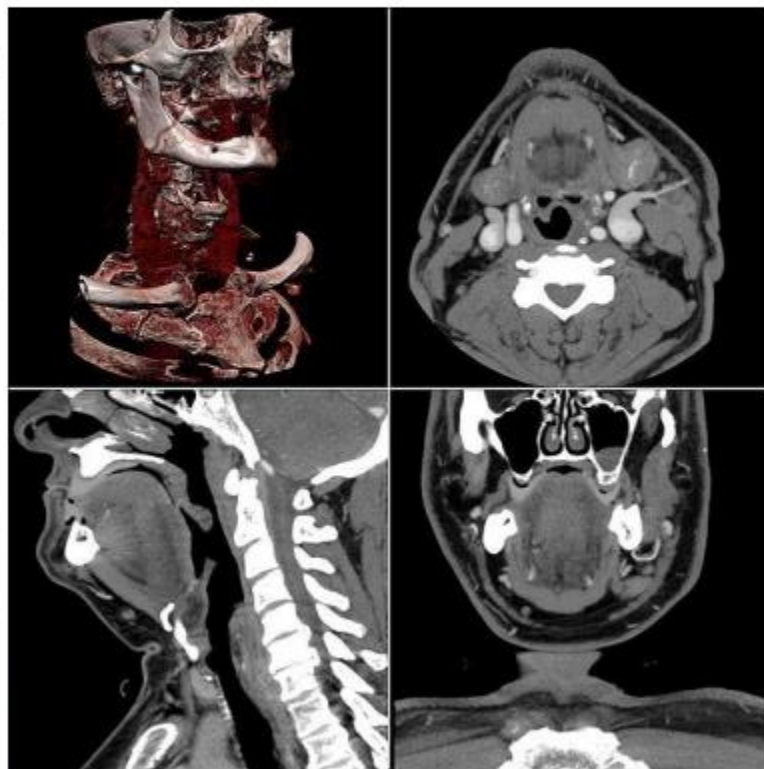
◆ 放射診斷-X光影像

X光管產生X光，穿透人體不同組織後，透過感光元件晶體（非晶體矽）或傳統乳膠底片得到灰階程度不一之X光影像。依不同的組織及厚度調整X光的能量（kVP）及強度（mAs）來得到最佳的診斷影像。



◆ 放射診斷-電腦斷層影像(CT)

英國科學家Hounsfield發明。
係根據人體截面投影重建該截面之影像，可得冠狀（coronal）、矢狀（sagittal）及橫切（transaxial）三種切面之影像。與X光影像主要在針對「硬組織」等有較好解析度。



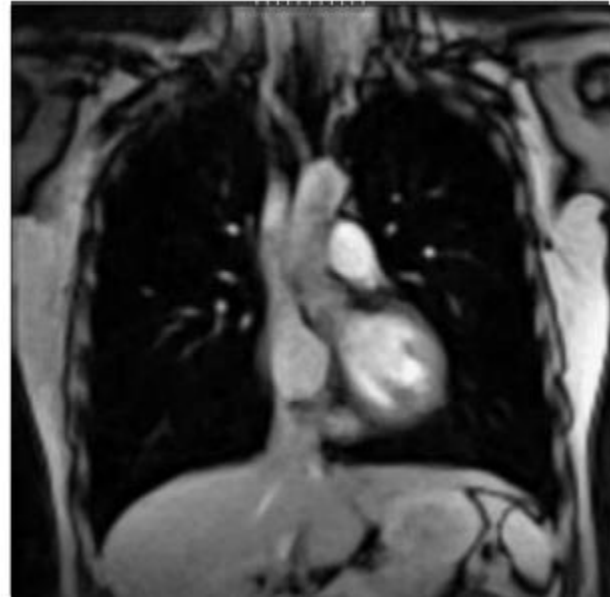
◆ 放射診斷-超音波(US)

即頻率 $> 20\text{ kHz}$ 之聲波稱為超音波。超音波在碰到物體的時候，會產生反射、折射等特性，其原理類似於雷達。以波形或圖像呈現出來。特色為沒有游離輻射的問題、屬即時顯像診察。



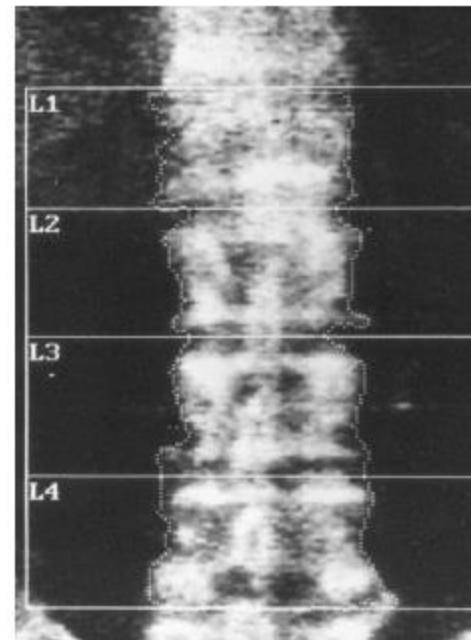
◆ 放射診斷-磁共振造影(MRI)

利用磁場原理，把人體置於強大均勻的靜磁場中，再利用特定射頻無線電波脈衝，激發人體組織內的氫原子核。由於人體內到處都是氫原子核，每一個氫原子都如同一個小小的磁鐵。當儀器改變體內氫原子核的旋轉排列方向，原子核就會釋放吸收的能量，透過釋出的電磁波信號，經電腦重組分析形成影像。



◆ 放射診斷-骨質密度測定(BMD)

常利用放射性同位素Gd-153射源（100 KeV & 44 KeV）的雙能量X射線進行量測。透過兩種不同的能量進行軟組織進行測量；常測量腰椎等部分，進行骨骼密度（即鈣含量）的量測，定量其骨骼中「每平方公分所含礦物質的含量（ g/cm^2 ）」。



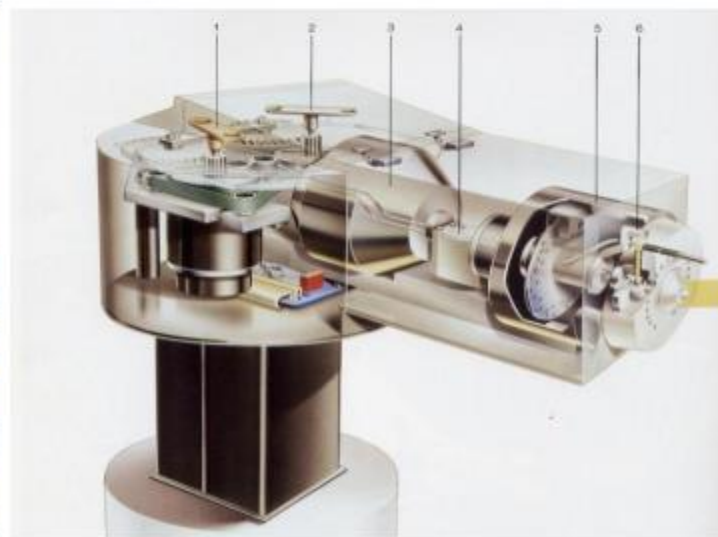
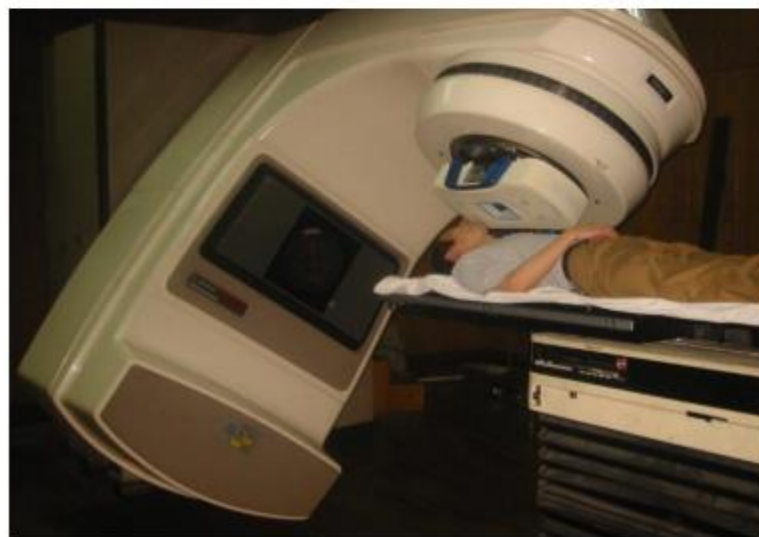
◆ 放射診斷-血管攝影(Angiography)

為一種侵入性檢查。主要透過侵入性導管至體內病灶血管處，施打含碘顯影劑，同時利用X光影像做即時的記錄。觀察顯影劑在病灶血液中的流動與充滿情形；同時，亦可同步進行血管整型手術（如放心臟血管枝架等）。



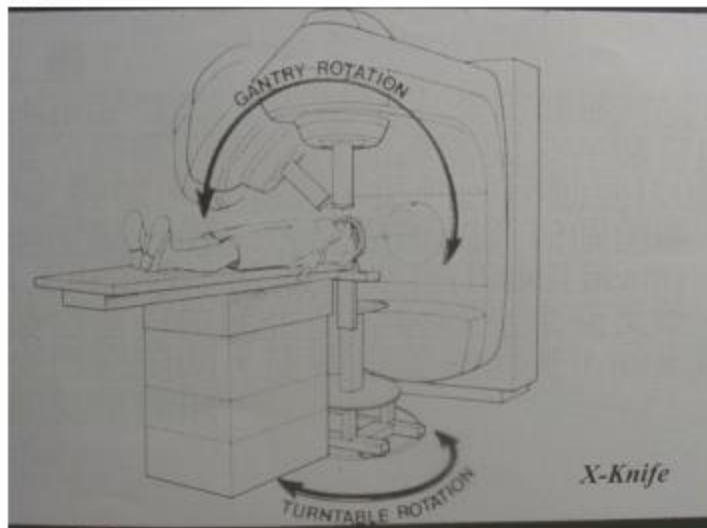
■ 放射治療(Radiotherapy)

何謂放射治療（放療、電療）？主要利用直線加速器（linear accelerator）將電子加速至非常高能量後（6, 10, 15, 18 MeV等），透過釋放的高能X射線（治療深部腫瘤）或者電子射線（治療表淺腫瘤）於腫瘤病灶處，殺死癌細胞。廣義來說：放射治療又可再分成「遠隔治療」及「近接治療」二種。



■ 放射治療-放射手術(Radiosurgery)

三度空間立體定位放射手術（stereotactic radiosurgery; SRS），是以精確的定位方法把輻射從多方位集中射向腫瘤，盡量減低其它正常組織接受到輻射劑量。一般，此種放射手術又可區分為兩種：（1）X光刀（ χ -knife）及（2）加馬刀（ γ -knife），主要差別在於光子來源的不同，一為 χ 射線，另一為 γ 射線。





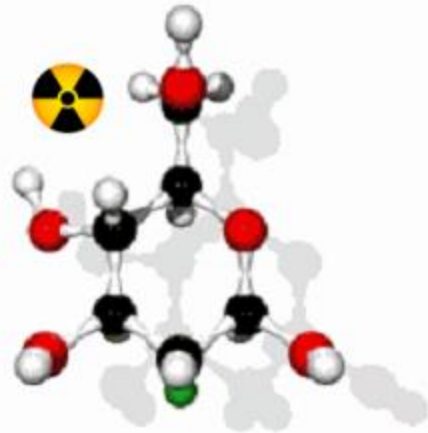
■ 放射治療-SRS適應症的比較(γ -knife v.s. γ -knife)

動靜脈畸型瘤、腦膜瘤及神經纖維鞘瘤等...

X-knife	γ -knife
屬非共平面弧型治療	屬多部位照射
射源動態	射源靜態（誤差更小）
精確度 $\pm 1\text{mm}$	精確度 $\pm 1\text{mm}$
臨床使用7~8年	臨床使用30年
可做SRT & SRS	只做 SRS
較便宜	較貴
可做全身	只做腦部腫瘤

□ 核子醫學(Nuclear Medicine)

核子醫學是什麼？這可追溯到1943年，最早由匈牙利放射化學家Hevesy提出的「放射示蹤 (radioactive tracers)」概念。旨在透過利用放射性標誌的化合物，追蹤顯示其藥物在體內的代謝過程。而所謂的放射藥物 (Radiopharmaceuticals) 即利用上述藥物進行疾病的診斷或治療。



George Charles de Hevesy, Hungary
Nobel Prize for Chemistry; (1885-1966)

□ 核子醫學-單光子及正子攝影(SPECT & PET)

@ 單光子放射電腦斷層攝影

(Single Photon Emission Computed Tomography : SPECT)

@ 正子放射斷層攝影

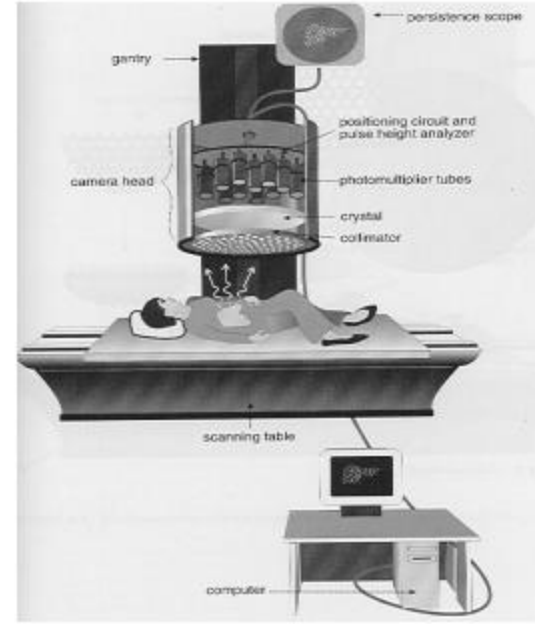
(Positron Emission Tomography;
PET)



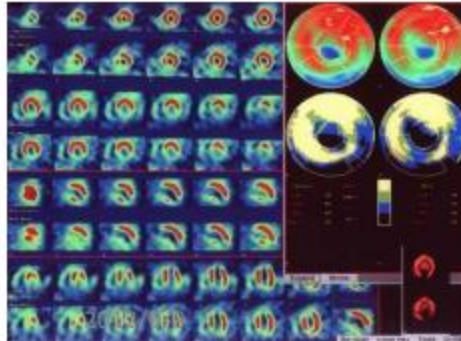
□ 核子醫學-單光子斷層造影(SPECT)

單光子造影特性：

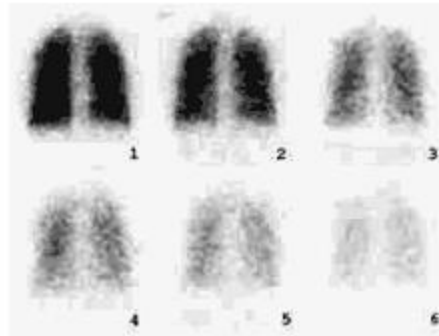
- 核種半衰期短
- γ -ray能量適中
- 100% γ -ray放射
- 容易生產



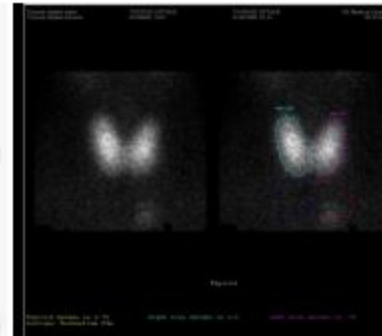
Heart



Lung



Thyroid



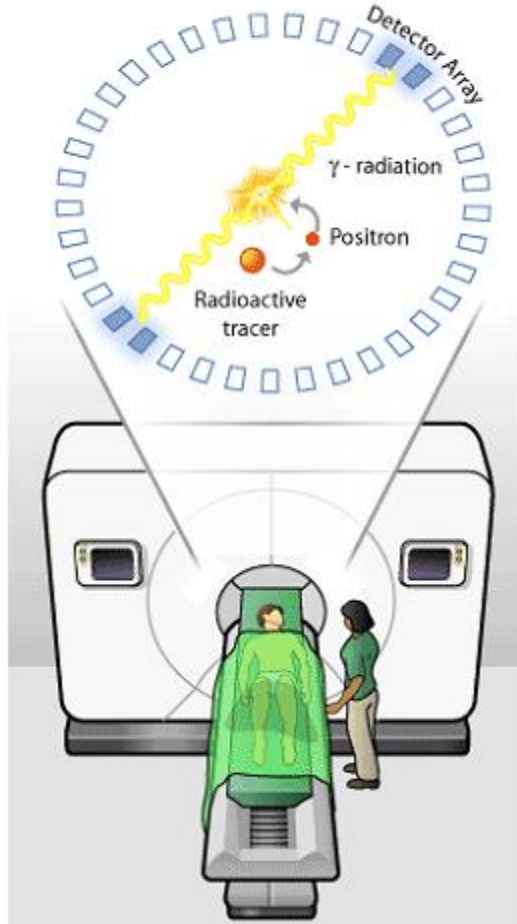
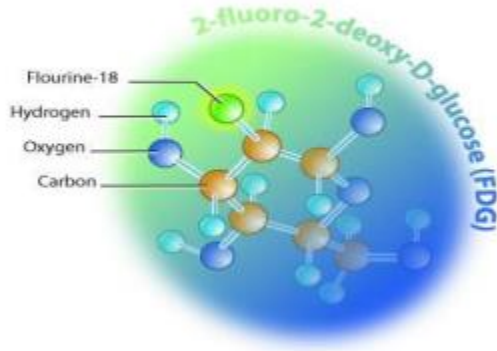
Bone



□ 核子醫學-正子斷層造影(PET)

正子斷層造影特性：

- 核種為正子衰變
- 有較好的影像品質
- 可進行定量計算



□ 核子醫學-常用於診斷的放射同位素(radioisotope)

Table 4: Commonly used Radioisotopes in Nuclear Medicine Imaging

Isotope		Energy keV (%)	Decay	Half-life	Production
67Gallium	67Ga	93 (50) 185 (30) 300(20)	? (electron capture)	3.3 d	Cyclotron
111Indium	111In	173 (50) 247 (50)	? (electron capture)	2.8 d	Cyclotron
123Iodine	123I	160	??electron capture)	13 hr	Cyclotron
131Iodine	131I	365	????	8 d	Reactor
99mTechnetium	99mTc	140	?	6 hr	Generator
201Thallium	201Tl	69-81 (90) 167 (10)	??electron capture)	3 d	Cyclotron
133Xenon	133Xe	81	????	5.2 d	Reactor
11Carbon	11C	511	??	20.4 m	Cyclotron
62Copper	62Cu	511	??	9.7 m	Generator
18Flourine	18F	511	??	109.8 m	Cyclotron
68Gadolinium	68Ga	511	??	1.1 hr	Cyclotron
13Nitrogen	13N	511	??	10 m	Cyclotron
15Oxygen	15O	511	??	2 m	Cyclotron
38Potassium	38K	511	??	7.6	Cyclotron
82Rubidium	82Rb	511	??	1.3 m	Generator

□ 核子醫學-療效性放射藥物的設計？

- 選擇一個有用的靶向性分子；已致能將標幟的放射化合物釋放至欲治療的位置。
- 選擇適當的放射性同位素，用來釋放能量破壞或殺死癌細胞。
- 發展一種方法能使放射性同位素和靶分子結合，且除對疾病治療外不會有負面的影響產生。

□ 核子醫學-放射同位素治療？

主要利用 α 或 β 放射之放射性核種將腫瘤細胞殺死

□ 甲狀腺腫瘤治療: I-131

□ 骨疼痛之減輕: Sr-89, Sm-153, Re-186, P-32

□ 大腸癌及心血管再狹窄治療: Re-188

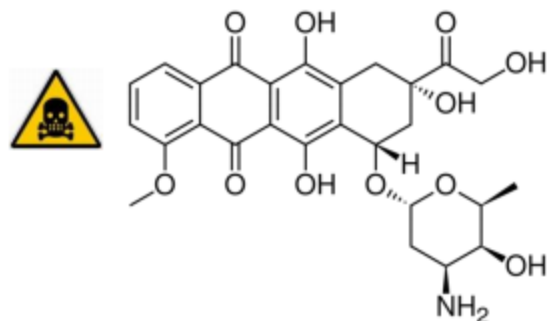
□ 核子醫學-常用於治療的放射同位素(radioisotope)

Radionuclide	Decay mode	Half-Life	E α M eV (%)	E β M eV (%)	E γ M eV (%)
P-32	β^-	14.3d	-	1.7 (100)	-
Y-90	β^-	2.7d	-	2.27 (100)	-
I-131	β^-	8d	-	0.61, 0.35, 0.25 (87.2, 9.3, 2.8)	0.28, 0.36, 0.63 (5, 81, 7)
Re-188	β^-	16.9h	-	2.12, 1.96 (78, 2)	0.155 (10.5)
Ir-192	β^- /EC	74d	-	β^- /0.672 (95.4)	0.316, 0.468, 0.308 (81, 49, 30)
At-211	α^{2+}	7.2h	5.9, 7.5 (42, 58)	-	0.08, 0.07, 0.57 (19, 24, 31)
Bi-212	α^{2+} / β^-	1.01h	0.64, 6.08, 9 (26, 10, 64)	0.49, 0.56 (64, 36)	0.51, 0.58, 2.60 (8, 31, 36)

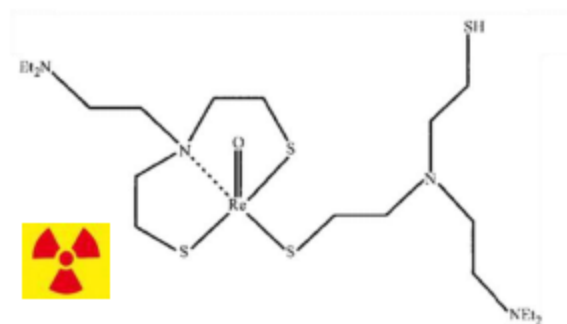
□ 核子醫學-銻-188奈米微脂體藥物於大腸癌治療



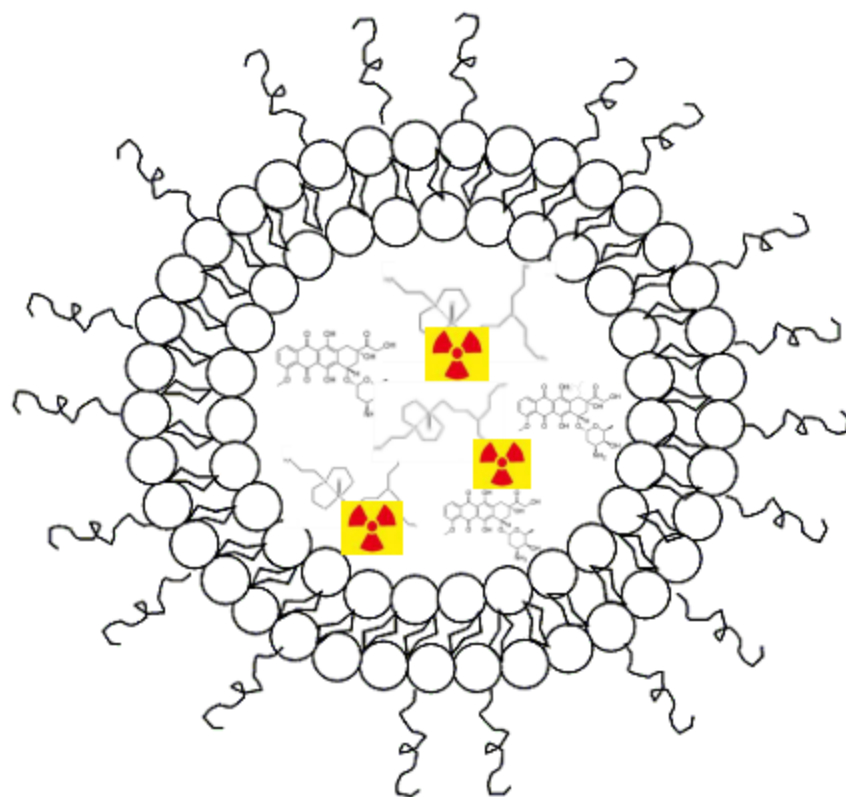
□ 核子醫學-銻-188奈米微脂體放射藥物



阿黴素（俗稱小紅莓）



銻-188-BMEDA錯合物



奈米微脂體放射化療藥物

核磁共振 (MRI)
電腦斷層 (CT)



結構性

組織及器官結構之變化

單光子造影 (SPECT)
正子造影 (PET)



功能性

組織及器官代謝之異常

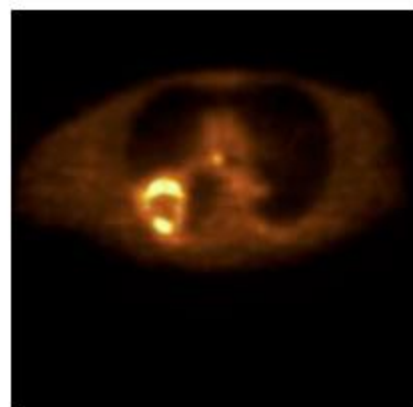
□ 核子醫學-「功能性」結合「結構性」二機合一



PET/CT

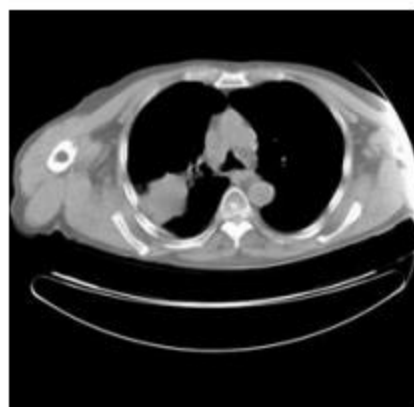


PET/MRI



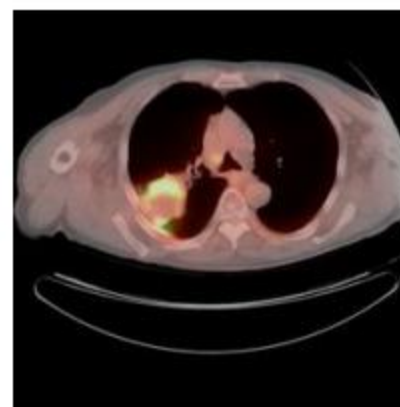
Function (PET)

+



Anatomy(CT)

=



PET+CT

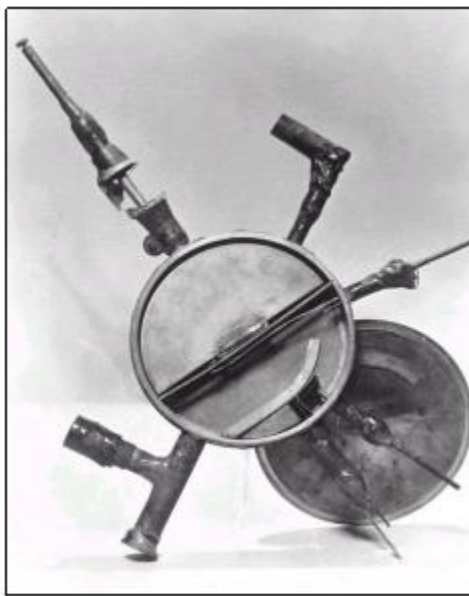
✓ 放射性同位素生產-原子爐(reactor)

- 清華水池式研究用反應器 (Tsing Hua Open-Pool Research Reactor; THOR) : 建於1959-1961
- 中子束通率: $10^7 - 10^8 \text{ n/cm}^2 \text{ s}$
- 同位素生產: Xe-133, I-131, Tc-99m, ...
- 硼中子捕獲治療 (BNCT) 研究

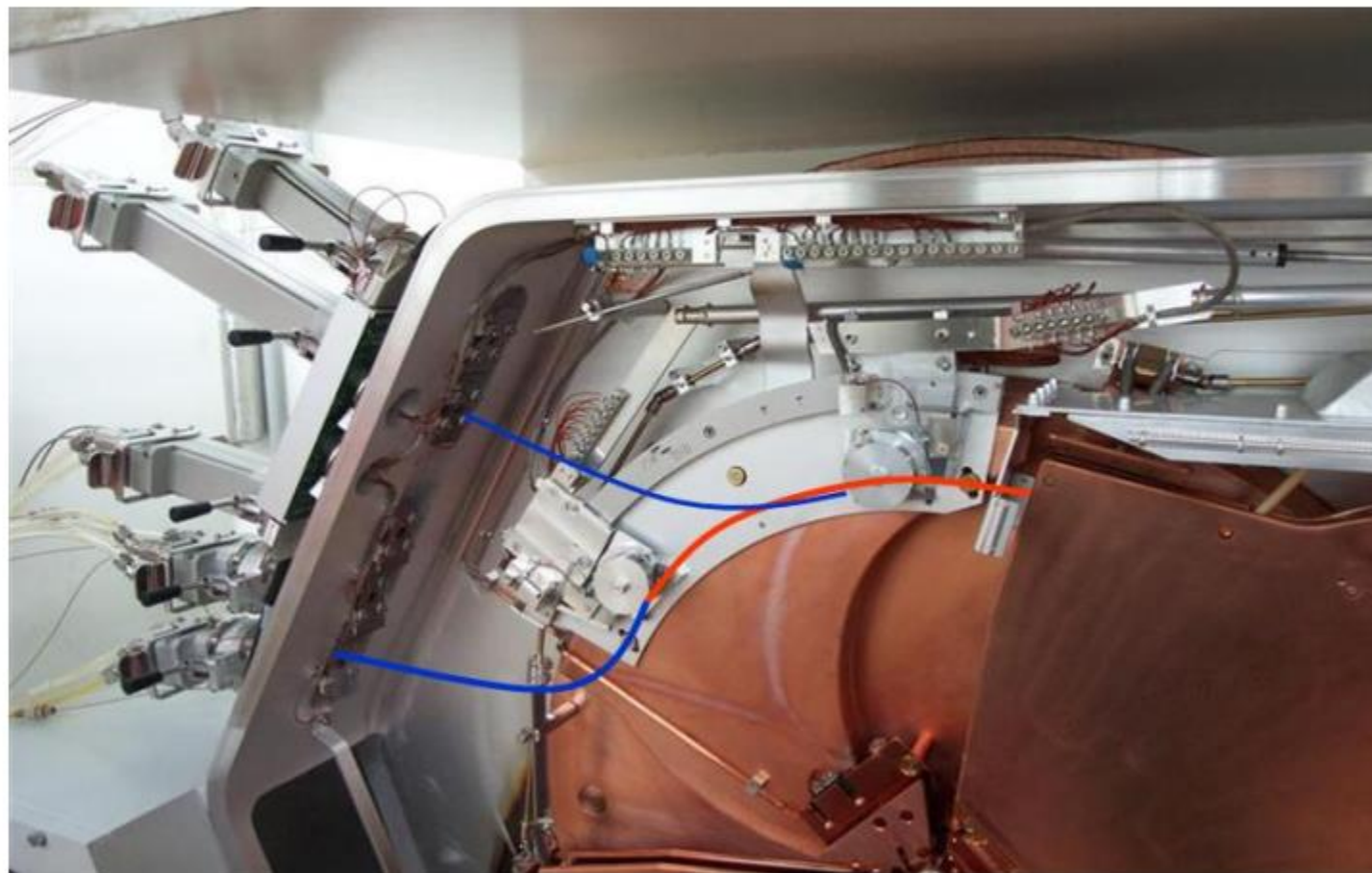


✓ 放射性同位素生產-迴旋加速器爐(cyclotron)

在1931年，美國科學家Lawrence和他的研究生M. Stanley Livingston在美國物理學會發表建造了第一台的迴旋加速器（將幾個氫分子離子加速到80,000 eV）。至今發展成用來生產「正子衰變系列」放射性核種的設備。如：**F-18...**等



✓ 放射性同位素生產-迴旋加速器結構



✓ 放射性同位素生產-核種產生器(generator)

➤ Mo-99/Tc-99m

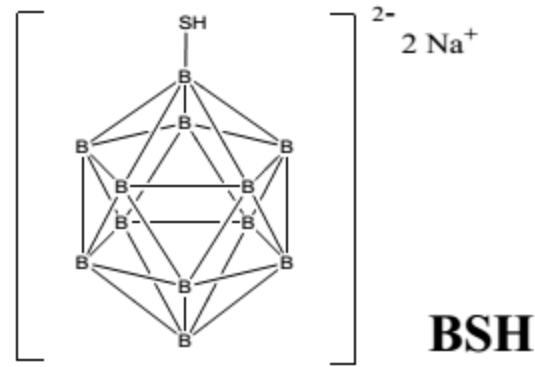
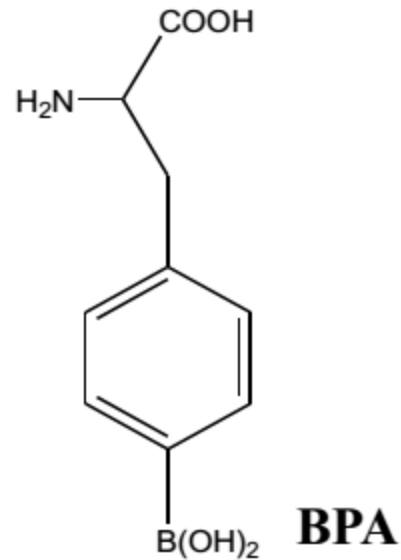
➤ W-188/Re-188

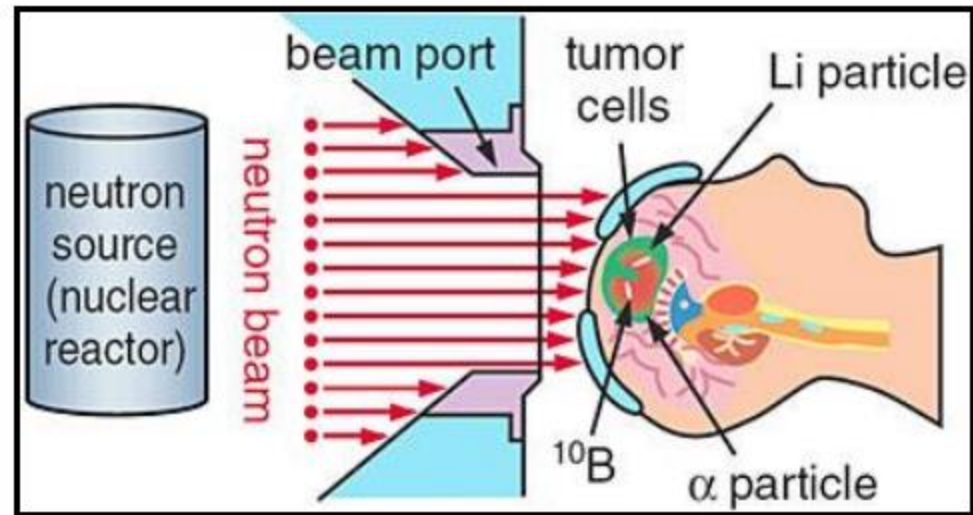
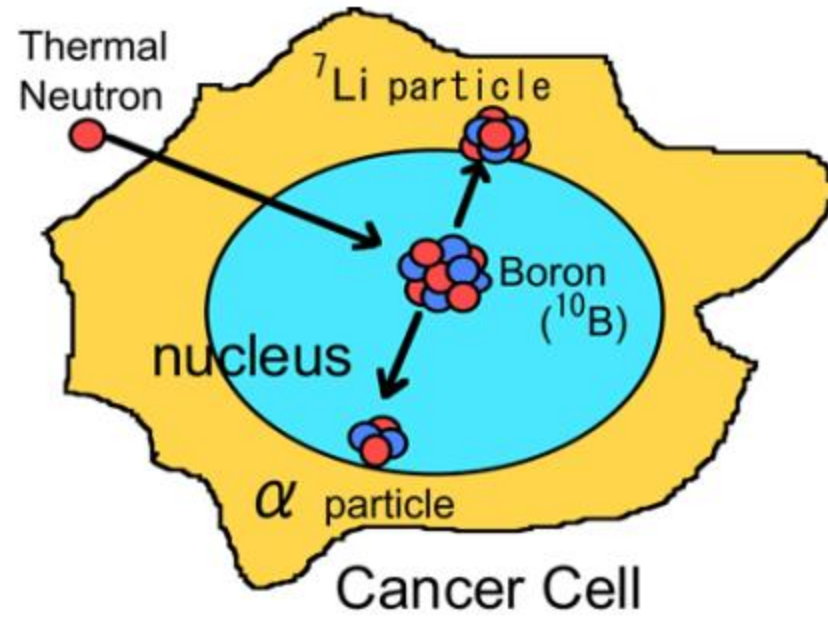
➤ Sr-82/Rb-82



● 硼中子捕獲治療(BNCT)

硼中子捕獲治療(Boron Neutron Capture Therapy, BNCT)是利用帶有硼(^{10}B)的藥物注射入生物體體內，使之在腫瘤細胞中累積，再以熱中子或超熱中子照射，使硼和中子發生反應，放射出 α 粒子殺死腫瘤細胞，同時避免傷害周圍正常組織細胞的一種癌症治療方法。





PART 2

輻射在農業應用

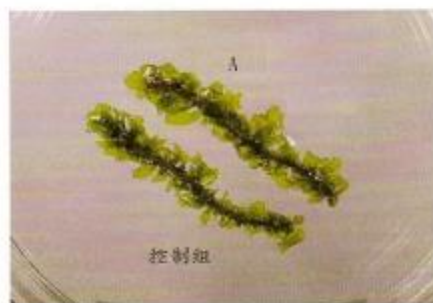
◆ 輻射在農業上的應用(1)

利用輻射線對生物體產生特定之生物化學效應，以達到殺蟲、滅菌、人工突變、矮化等農業應用。例如，利用加馬射線照射來矮化鬱金香株株高，防止倒伏以增進其觀賞價值。



◆ 輻射在農業上的應用(2)

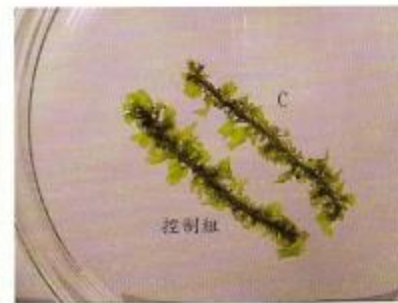
利用適度加馬輻射照射石藻海菜增進生長。



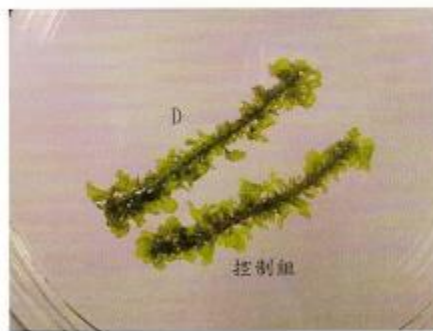
▲圖 1-1 照射5 Gy後



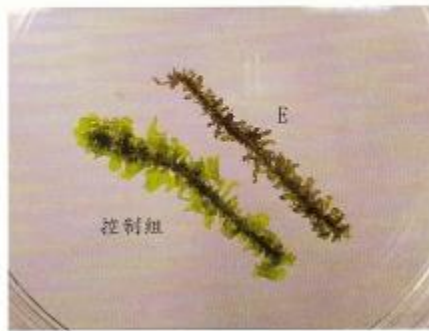
▲圖 1-2 照射15 Gy



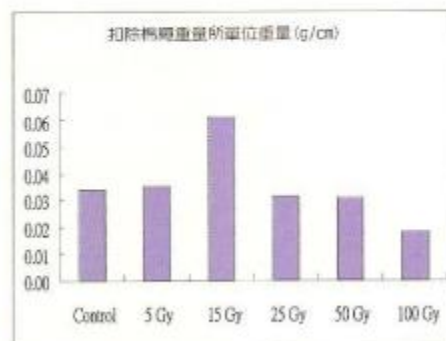
▲圖 1-3 照射25 Gy



▲圖 1-4 照射50 Gy



▲圖 1-5 照射100 Gy



▲表 1-1 石蓴乾重(g/cm)

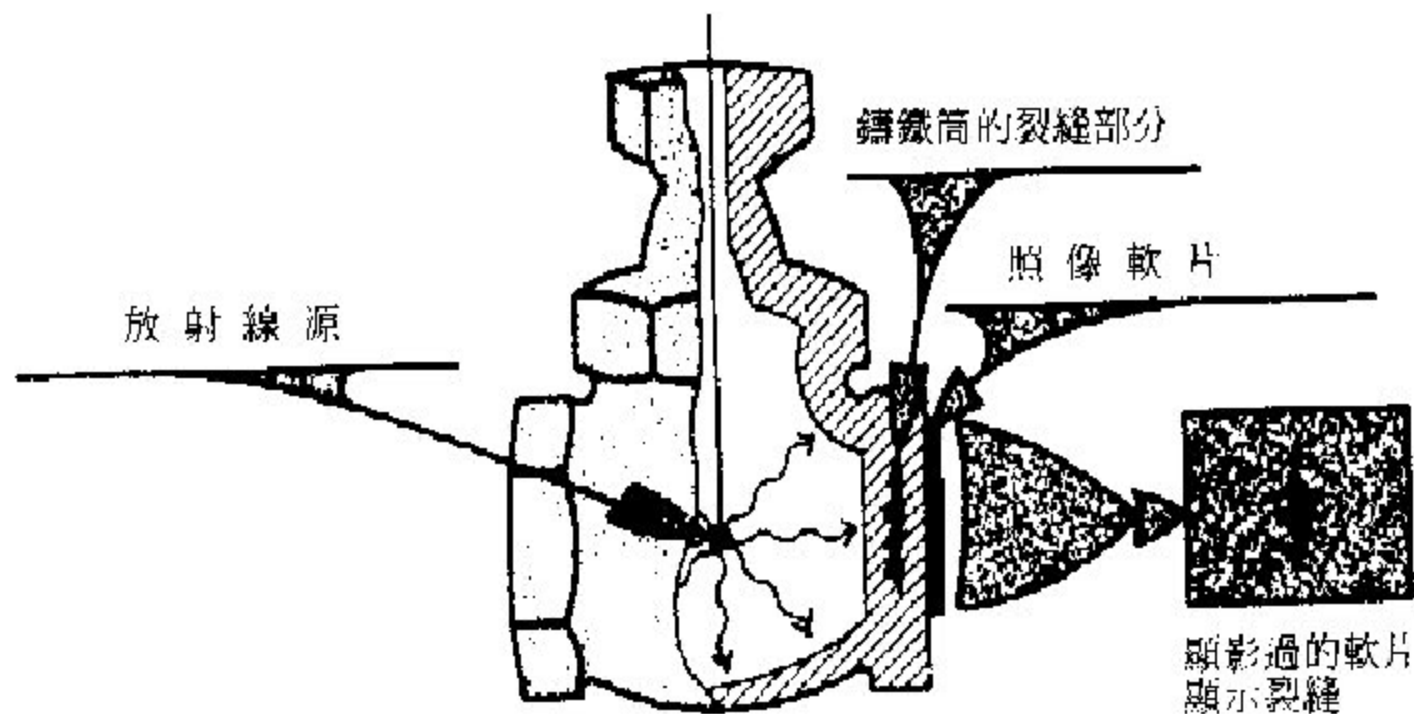
◆ 輻射在農業上的應用(3)

使用目的	使用範圍	使用劑量
1.抑制發芽	馬鈴薯、甘藷、洋蔥、大蒜	15krad以下
2.延長儲存期限	木瓜、芒果	150krad以下
3.防治害蟲	米、煙草、紅豆、綠豆、大豆、小麥、麵粉	100krad以下
4.雄不孕性	東方果實蠅、甜菜夜蛾	25krad
5.殺蟲滅菌	淡水魚(殺滅中華肝吸蟲等)、豬肉	50krad以下
6.檢疫照射	果蔬檢疫照射等	50krad以下
7.動物飼料滅菌	動物飼料等	2Mrad
8.品種改良	冬瓜、稻米	1krad
9.抑制生長	水仙花	1krad以下

PART 3

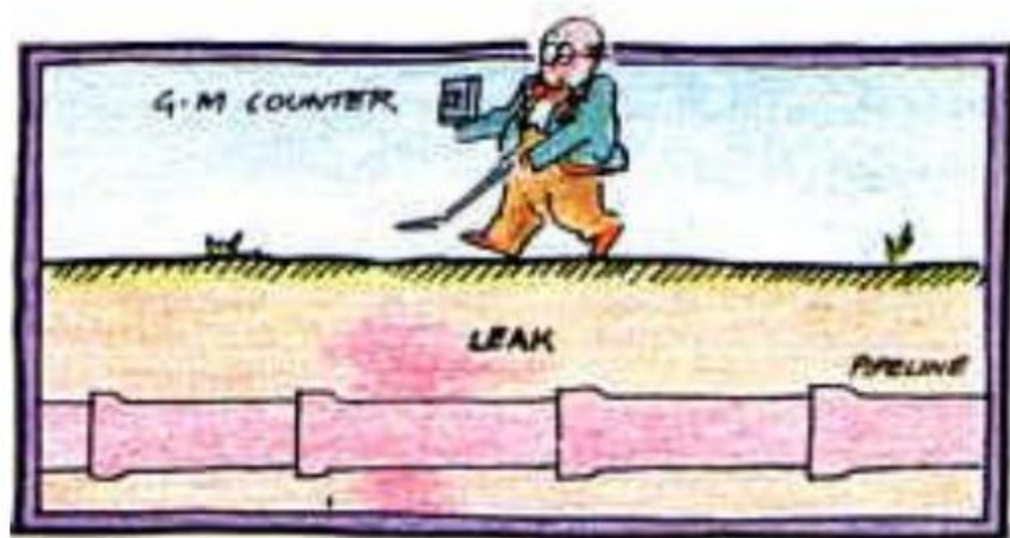
輻射在工業應用

◆ 輻射在工業上的應用-非破壞性檢測(1)

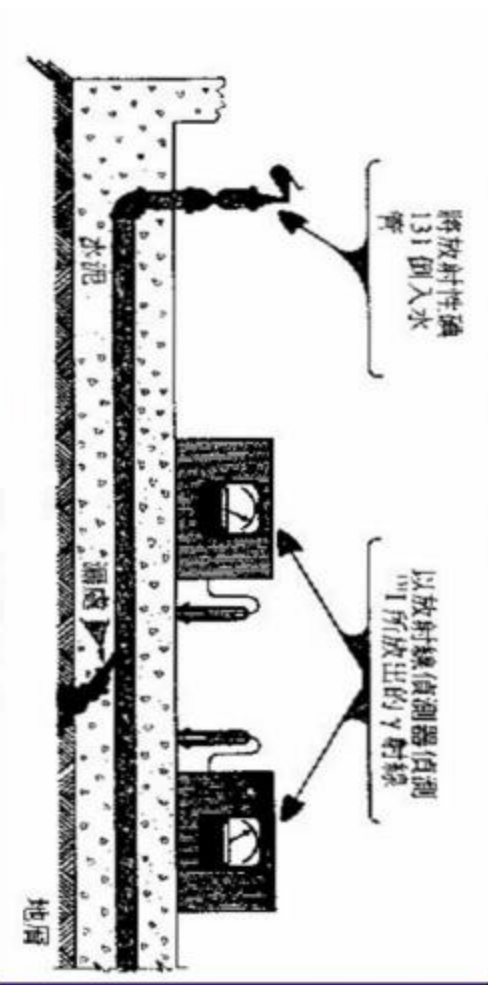


放射線攝影術檢驗鑄鐵筒的裂縫
或其建築物之隙縫或缺陷等

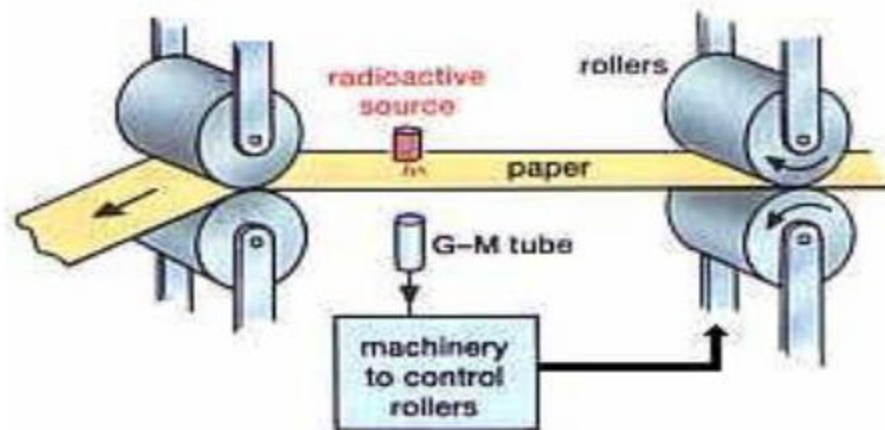
◆ 輻射在工業上的應用-非破壞性檢測(2)



追蹤法：運用在尋找水管漏水處

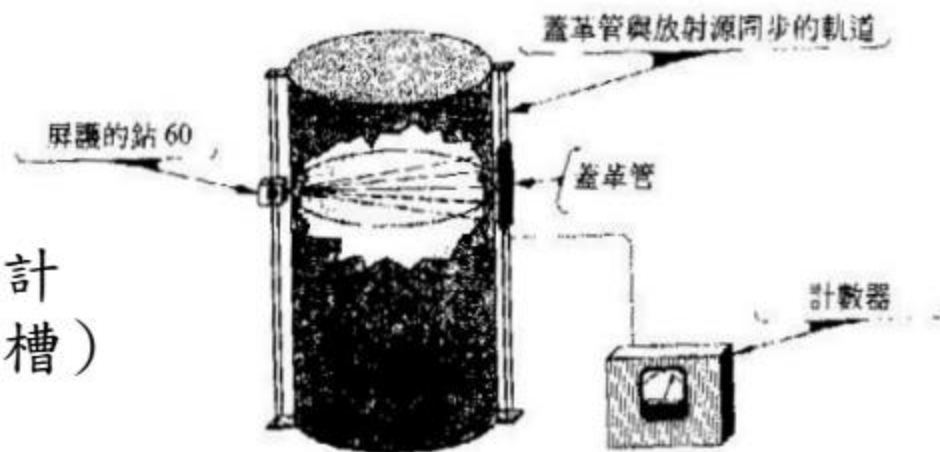


◆ 輻射在工業上的應用-非破壞性檢測(3)



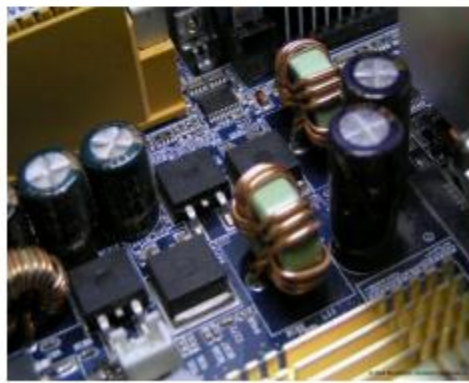
放射線厚度計
(金屬薄片)

液面高度指示計
(石油液面儲存槽)



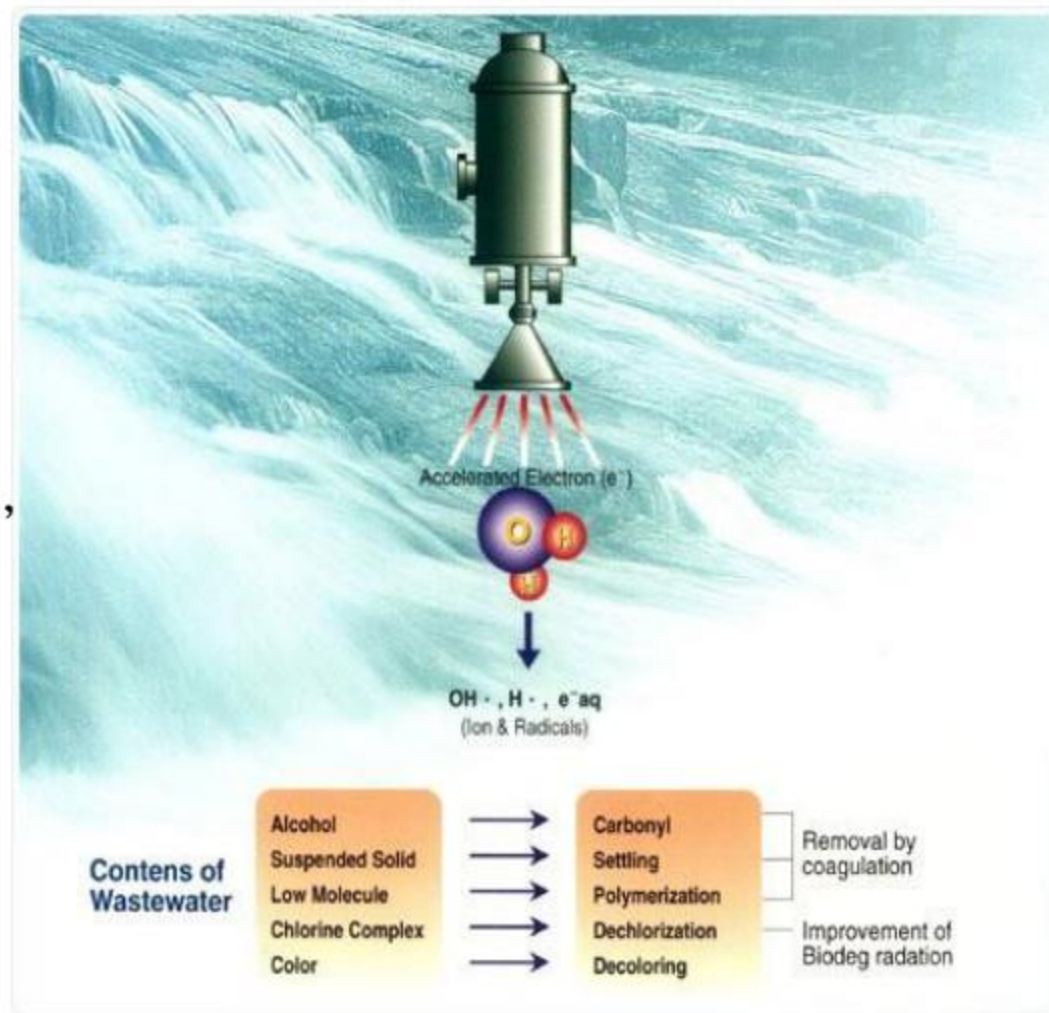
◆ 輻射在工業上的應用-高分子材料的品質改良應用

加馬照射目前已應用於高分子材料的品質改良上，如**照射誘發聚合反應、共聚合反應、接枝共聚合反應以及交聯反應**，其產品及衍生產品，如木塑材及衍生品、電線、電纜、薄膜、塑膠或橡膠製品、樹脂加工絨布或紙、黏著劑、微印刷板、積體電路板、熱敏電阻被動元件、無塵室擦拭布、抗菌布料、無菌包材等。



◆ 輻射在工業上的應用-廢水處理(1)

利用加馬射束或電子射照射廢水除汙，擁有高效、簡便、無副產物等優勢；在日益嚴重的環境廢水議題上，倘若再合併其它有效方法預期將成為污染治理新的發展方向。



◆ 輻射在工業上的應用-廢水處理(2)

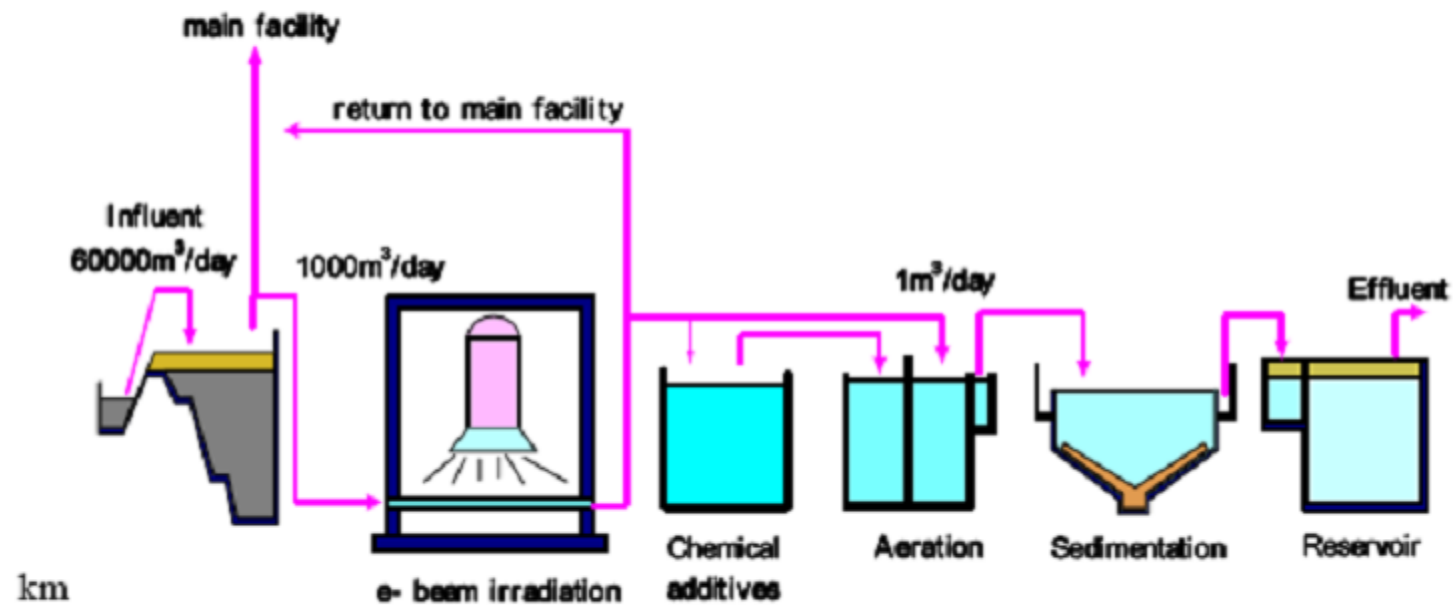
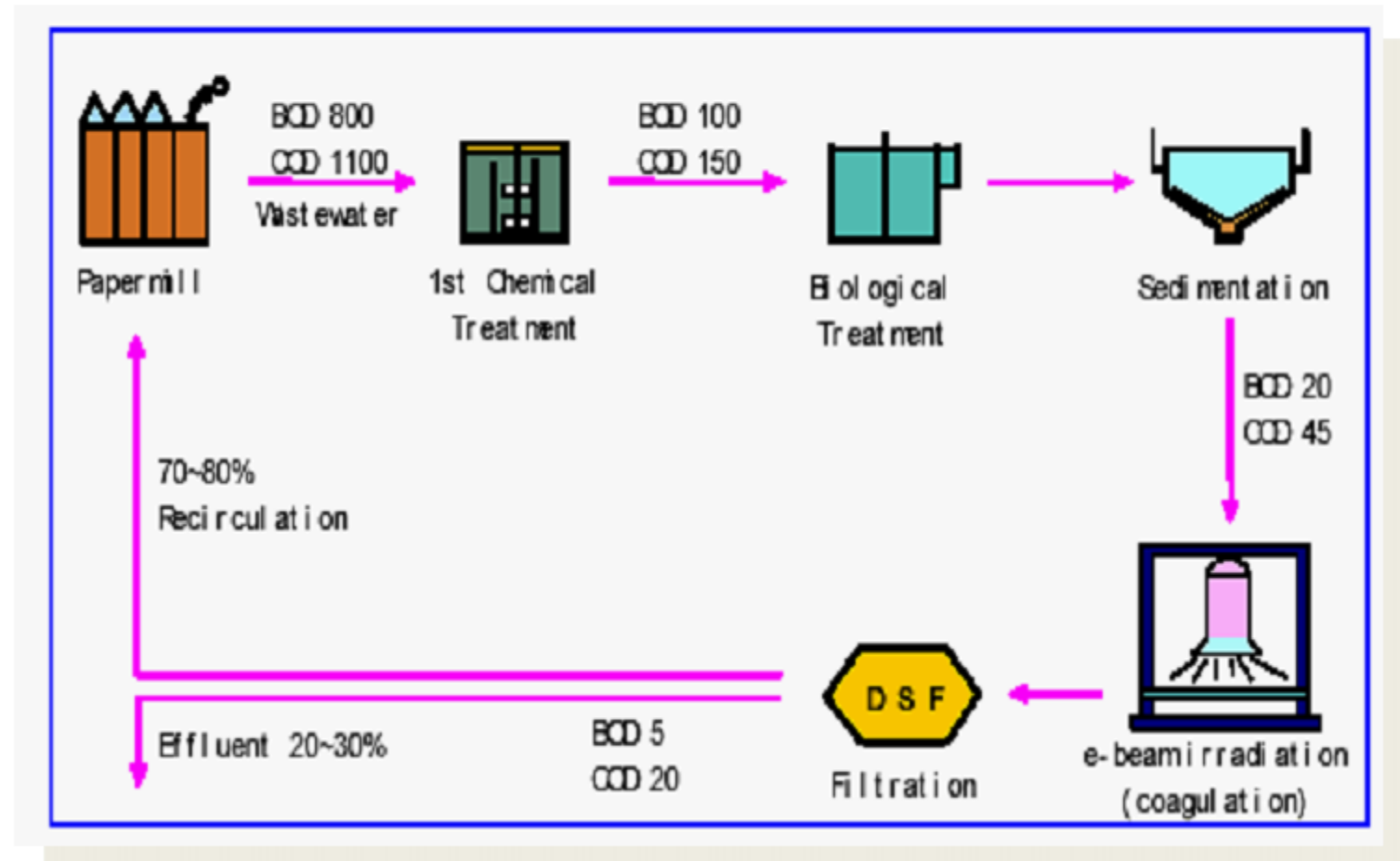


FIG. 3. Schematic diagram of pilot plant at Taegu dyeing complex.

◆ 輻射在工業上的應用-廢水處理(3)

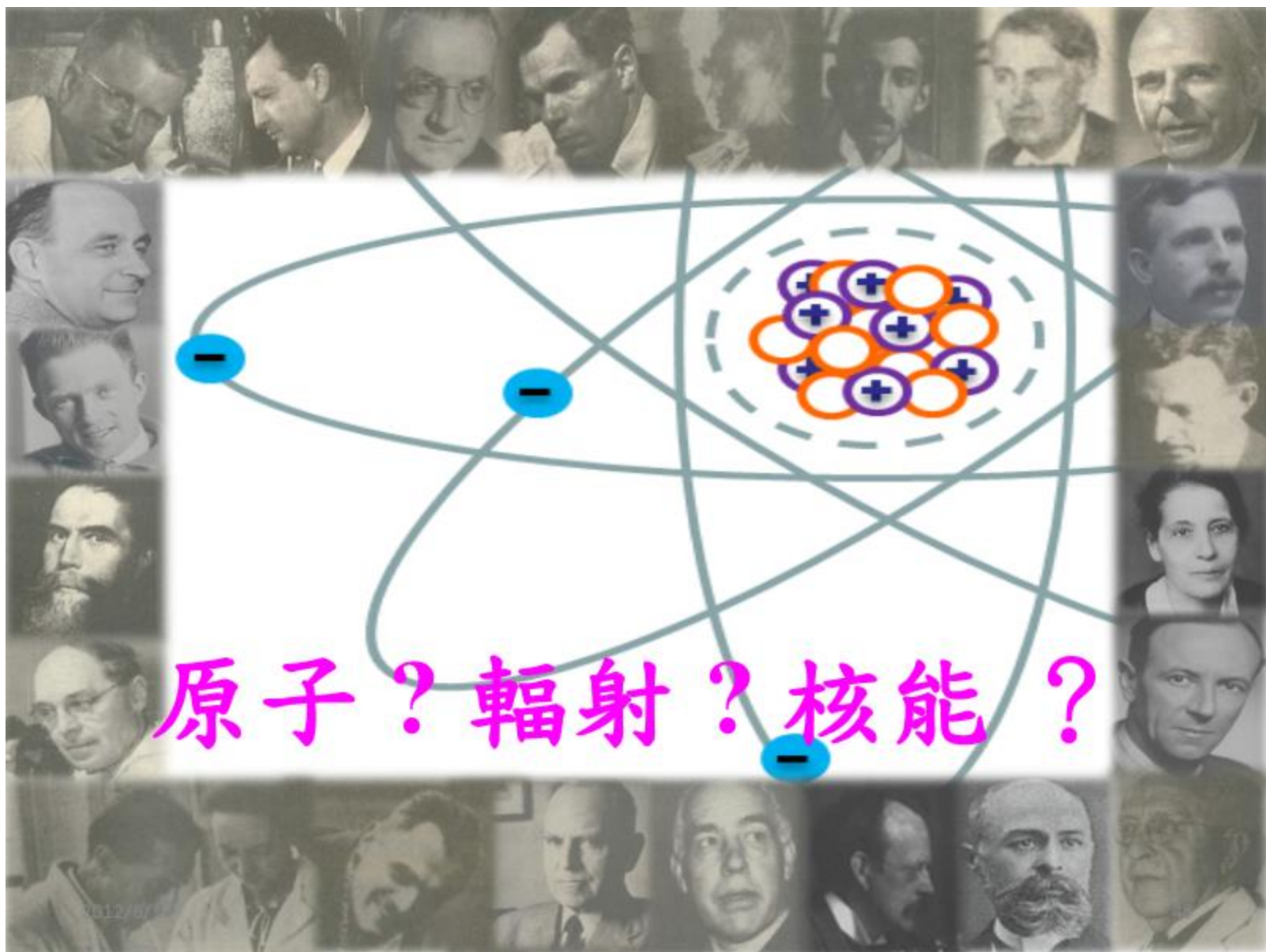


PART 4

核能發電應用

內容綱要

- 輻射
- 原子科學家
- 核能發展史
- 核能電廠系統
- 核能電廠現況
- 核能電廠事故
- 核廢料
- 參考文獻



◆ 何謂原子 --- “atom”

希臘語(Greek):

不能

切, tomography

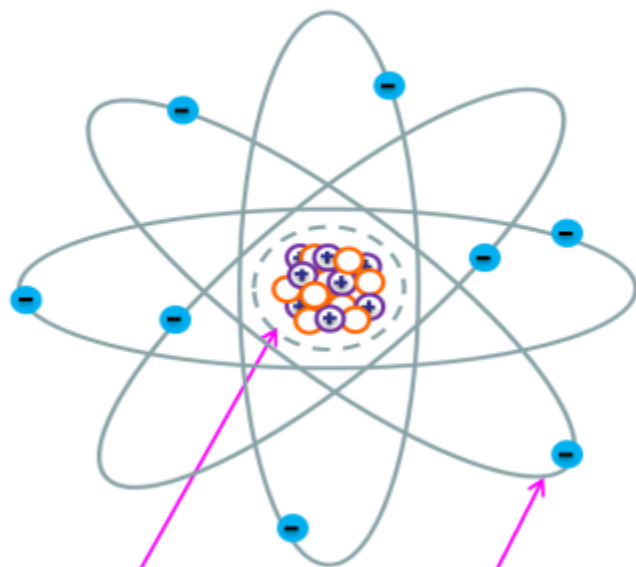


●: 電子

⊕: 質子

○: 中子

$$m_p \cong m_n \cong 1840m_e$$

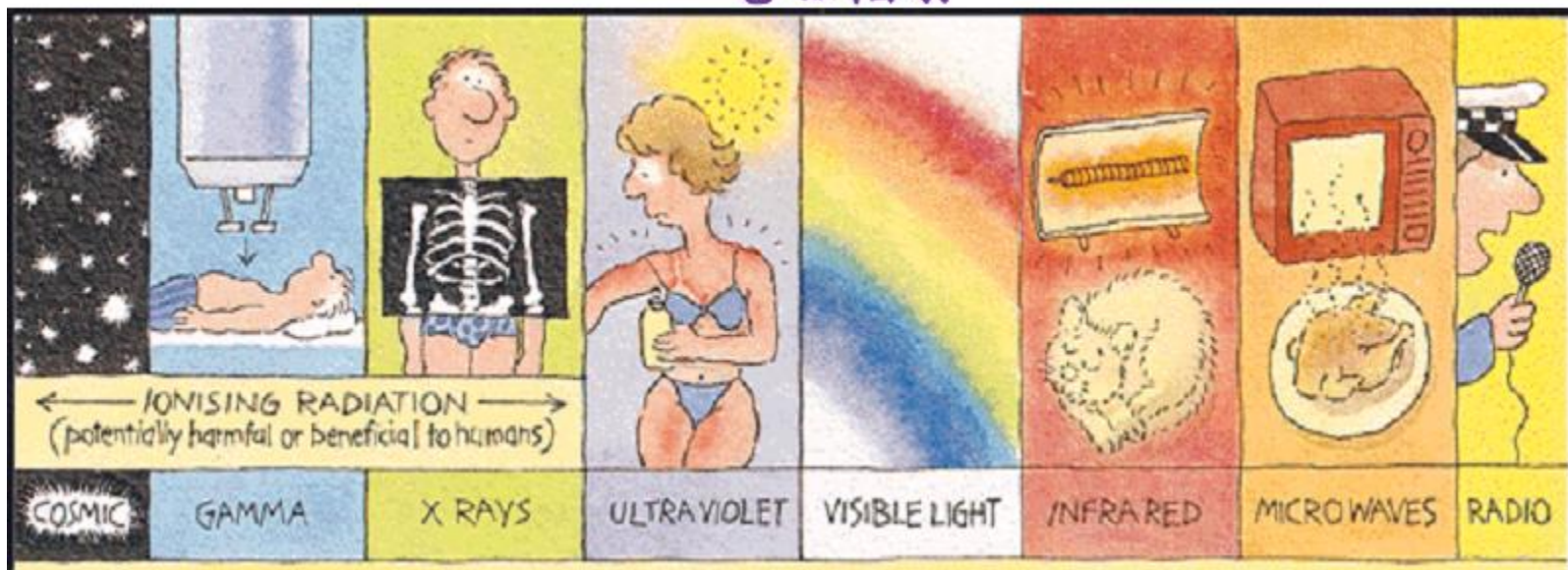


原子核
(10^{-10} m)

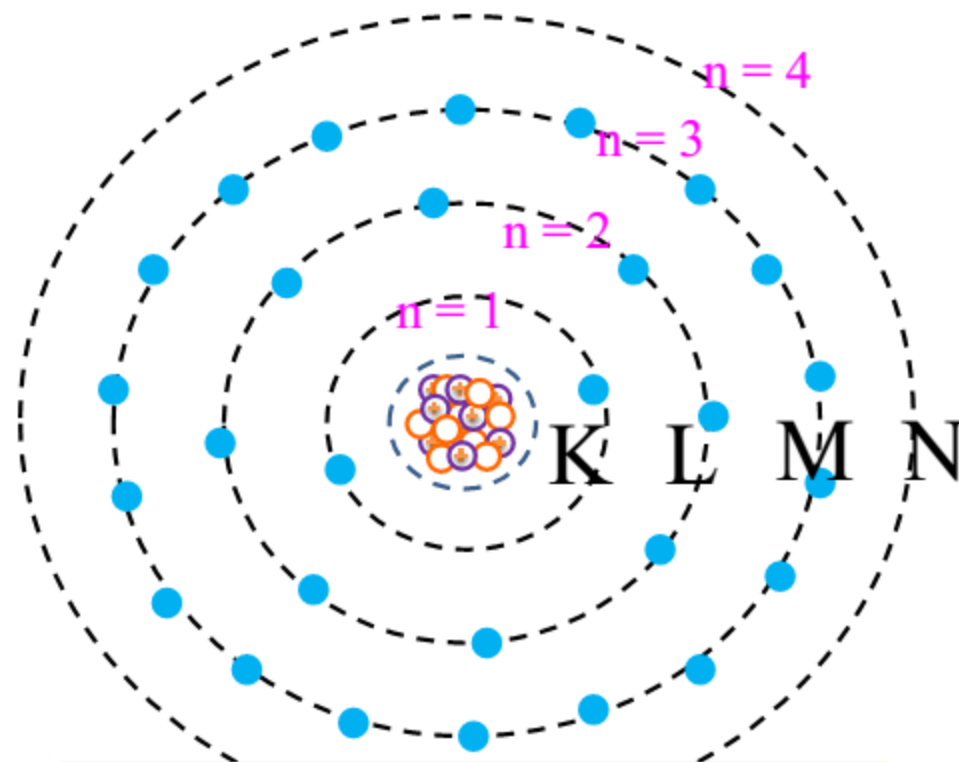
電子軌域
(10^{-6} m)



電磁輻射



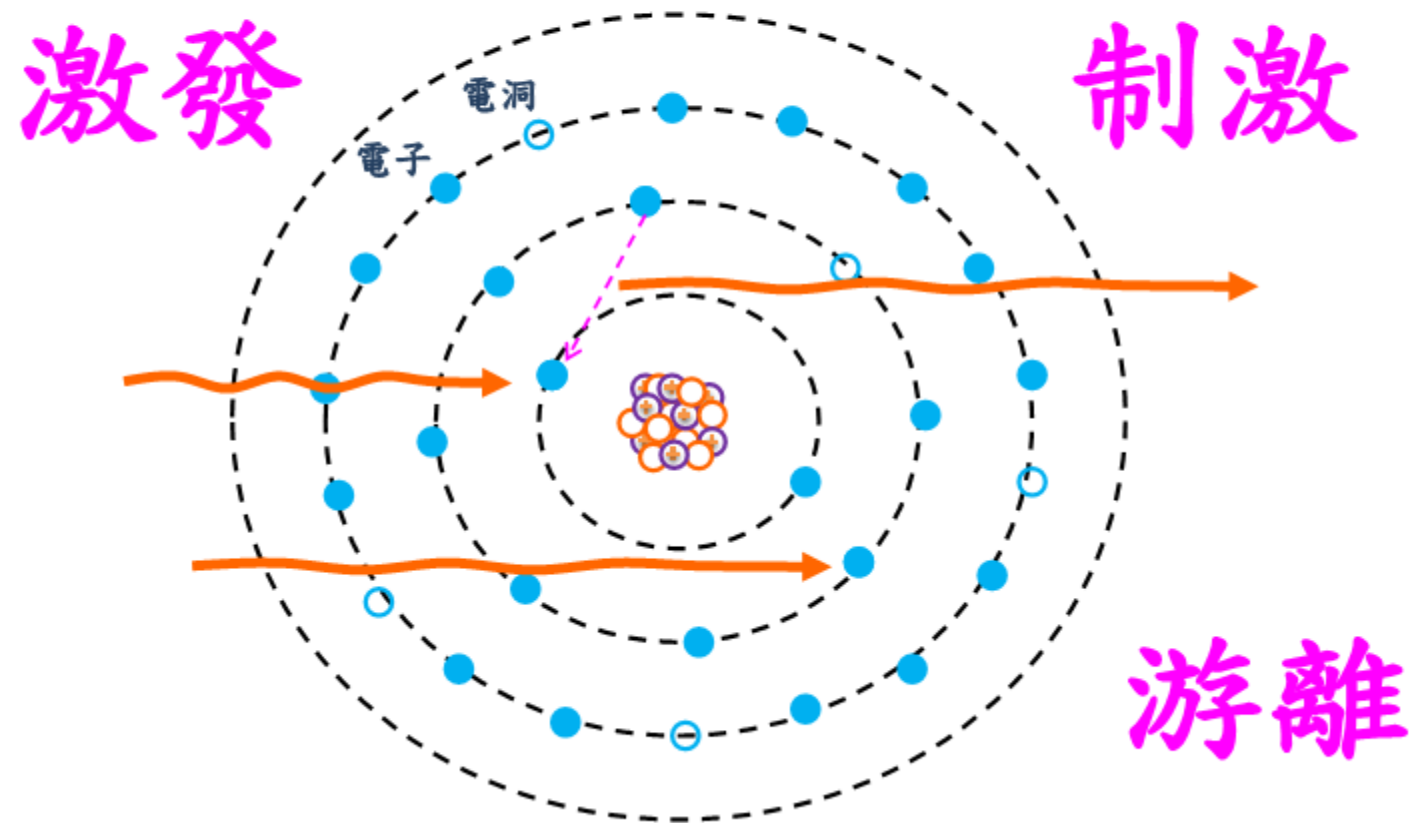
◆ 原子軌域 & 結合能



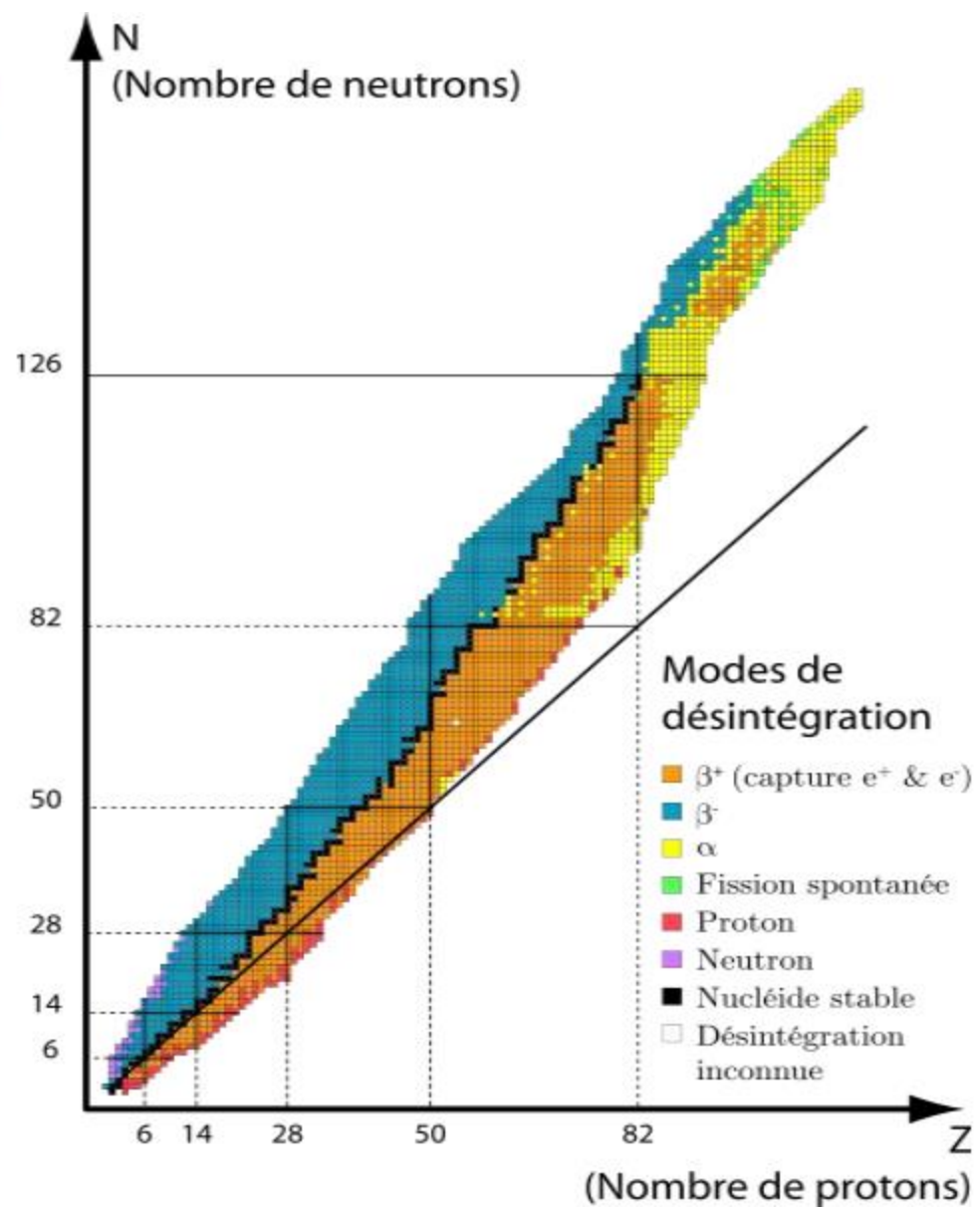
最大電子數 = $2n^2$

結合能：K > L > M > N

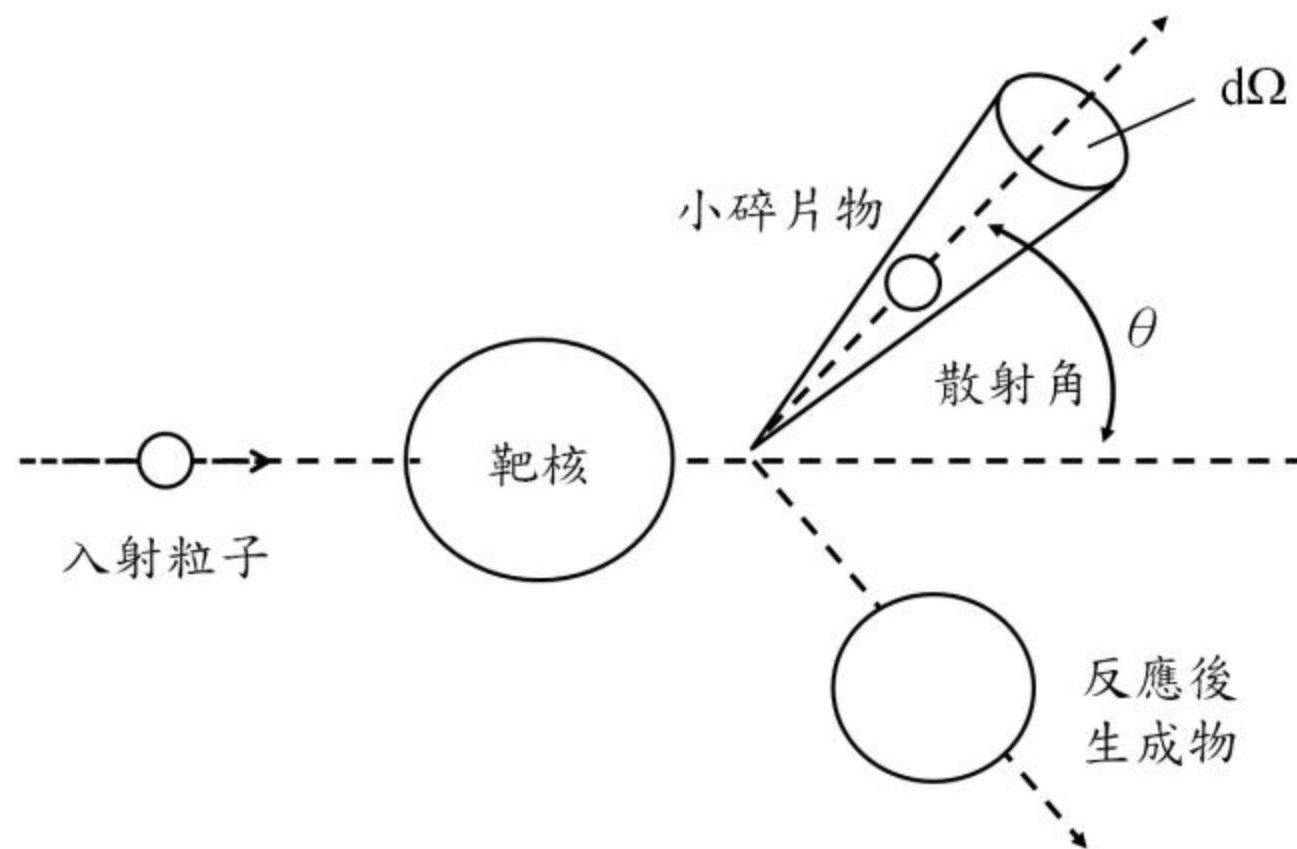
◆ 激發 & 游離 & 制激

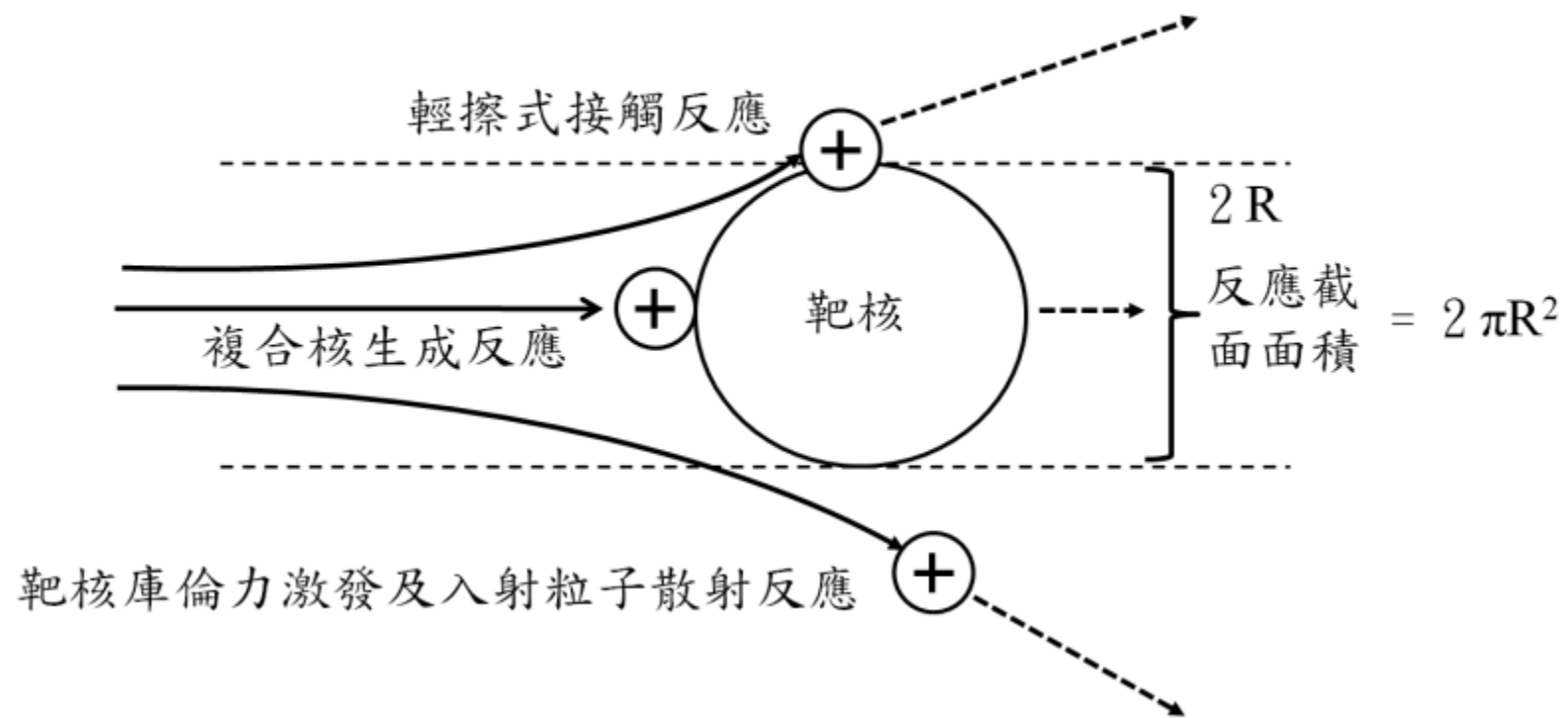


◆ 同位素衰變



◆ 核反應





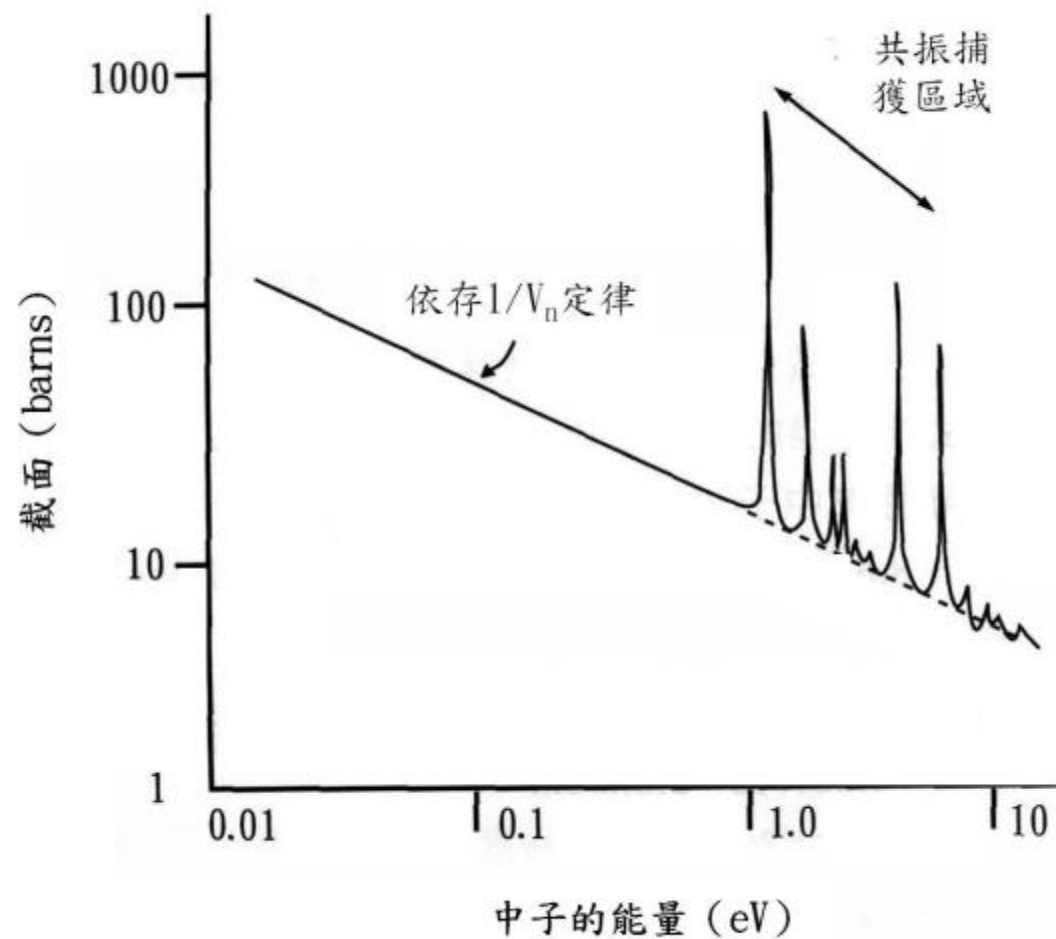
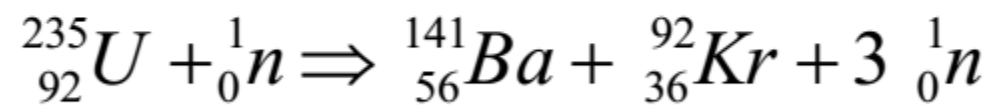
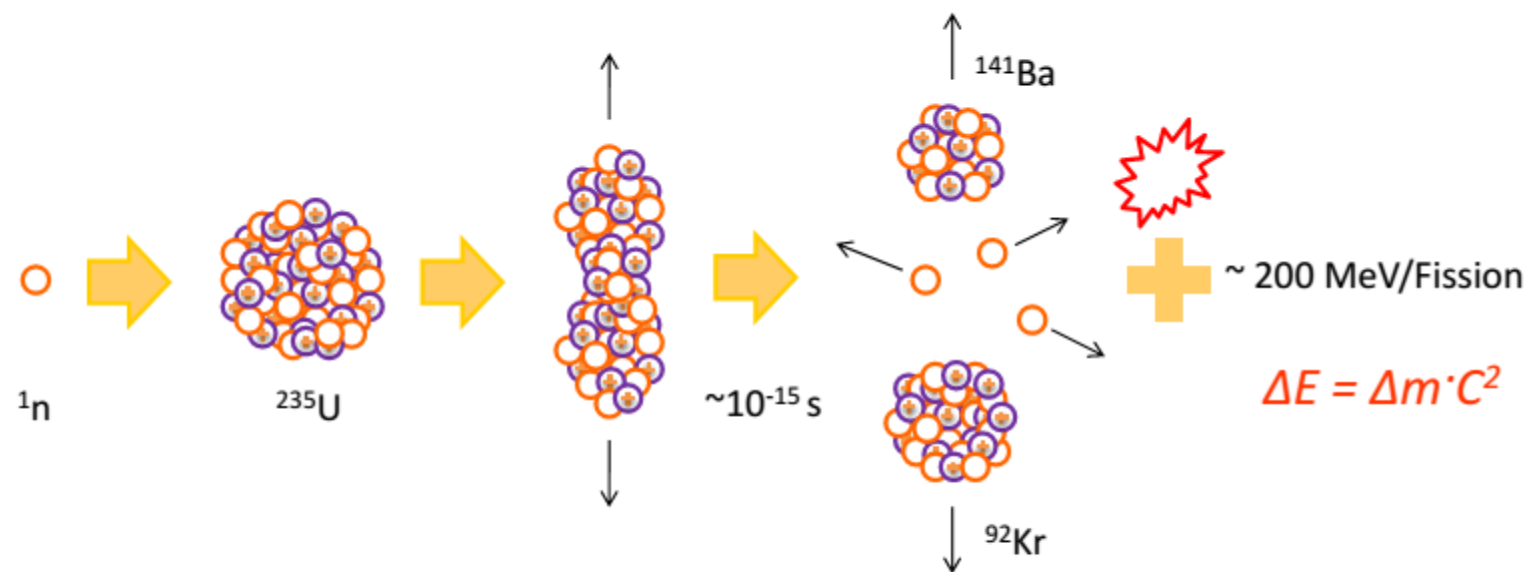


圖 5-3 以中子誘起核反應的激發函數

◆ 核分裂



1938s: Team of Lise Meitner, Otto Hahn and Fritz Strassmann discovered “nuclear fission”

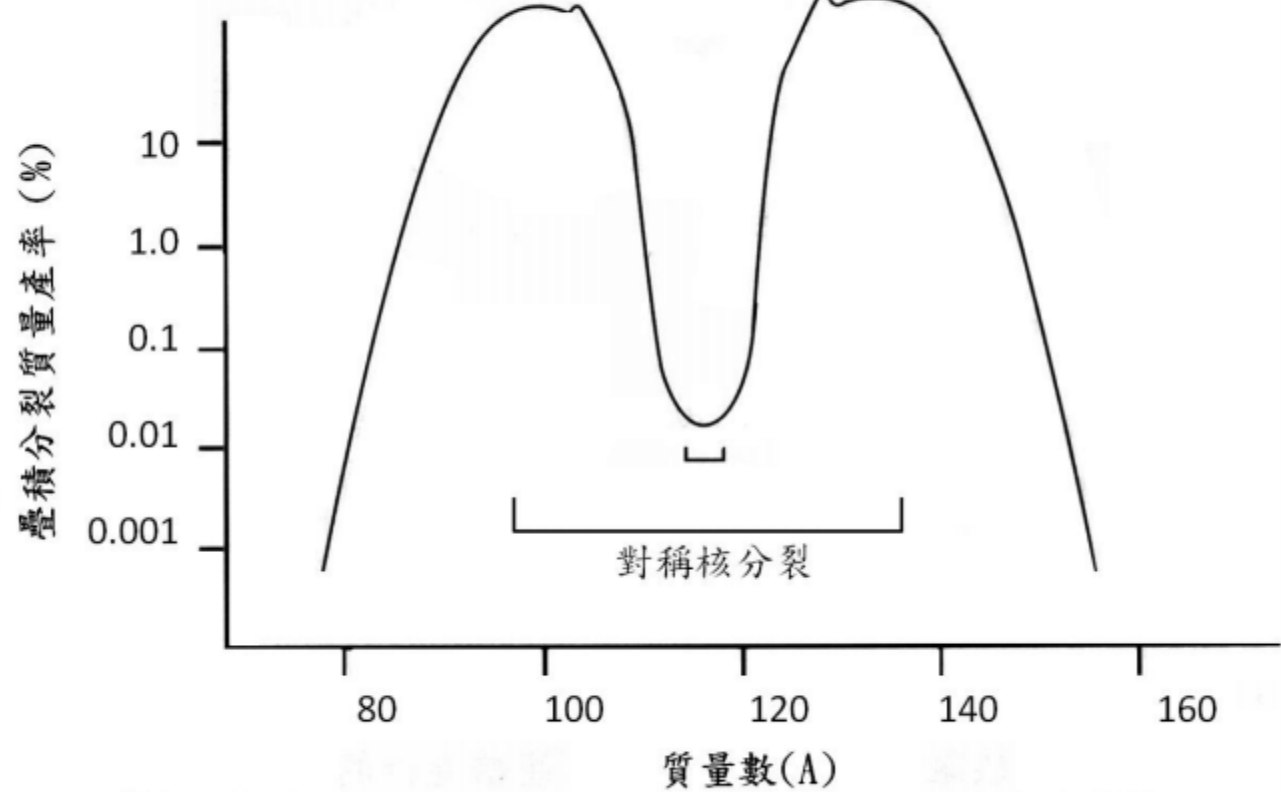
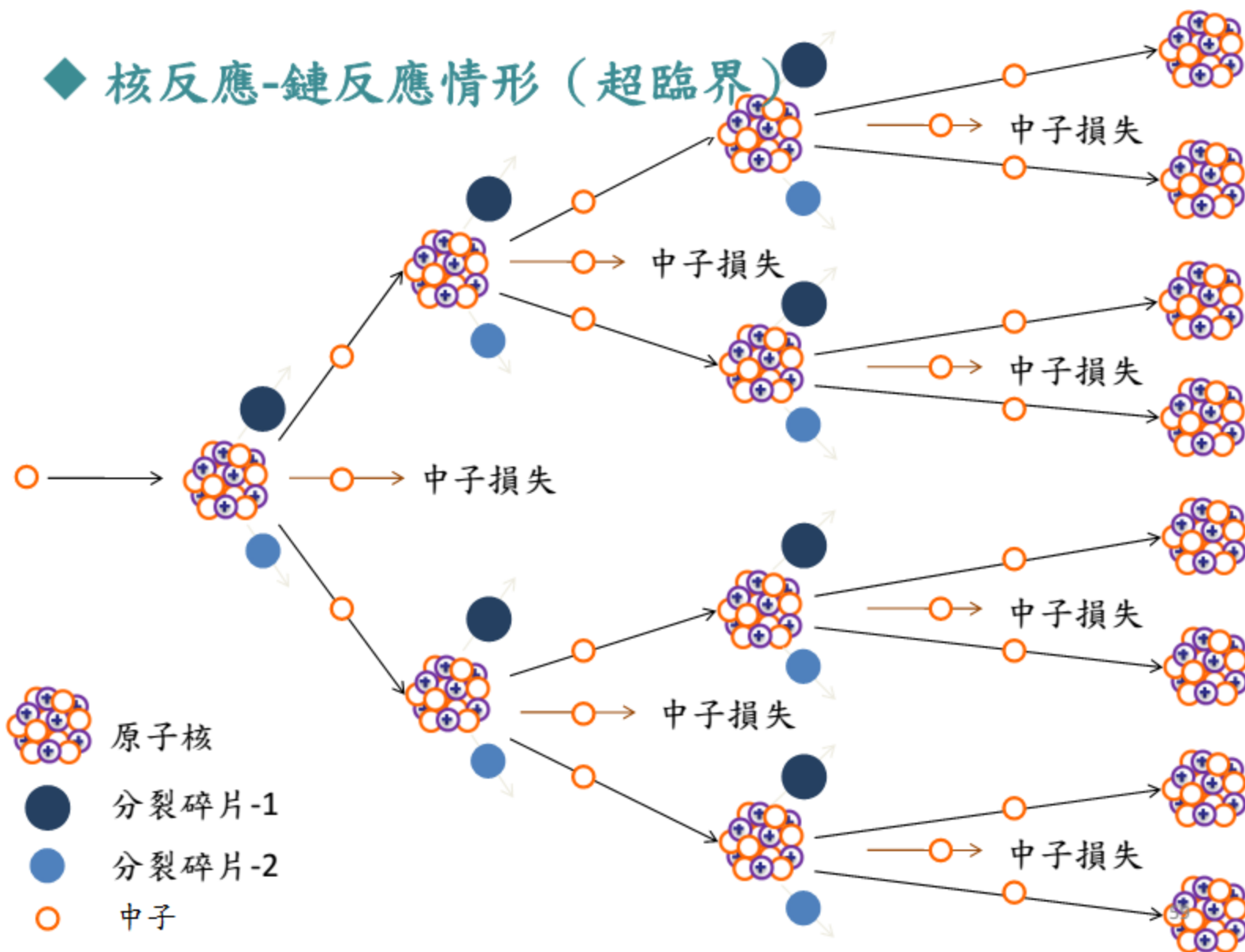
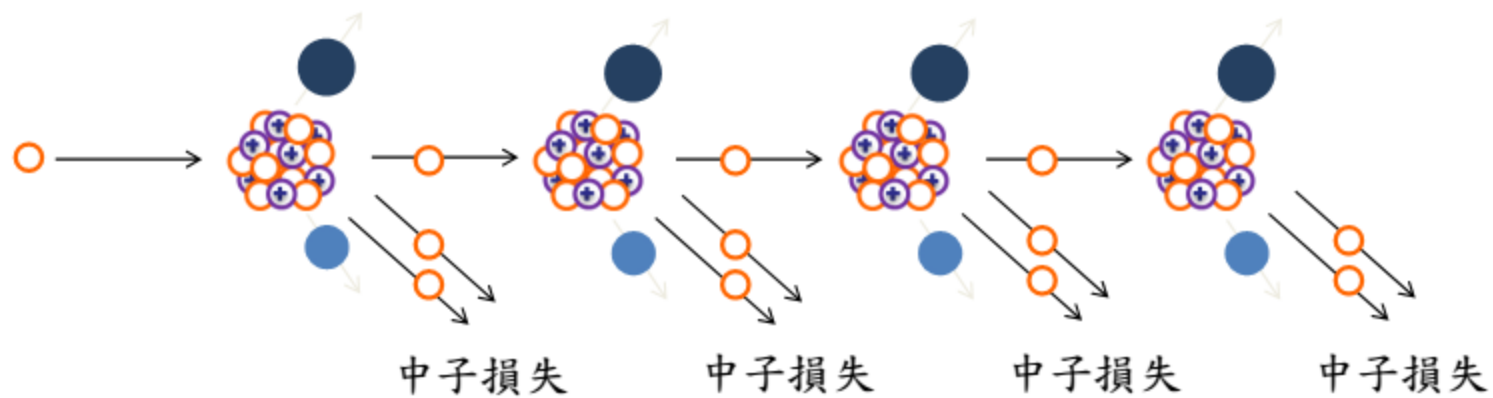


圖 5-6 在重核中以低能量中子誘起核分裂的質量產率曲線

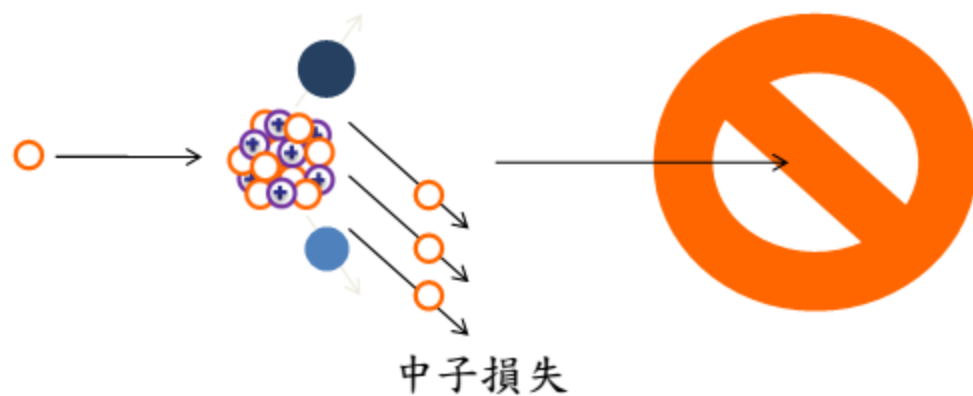
◆ 核反應-鏈反應情形（超臨界）



◆核反應-控制情形 (臨界)



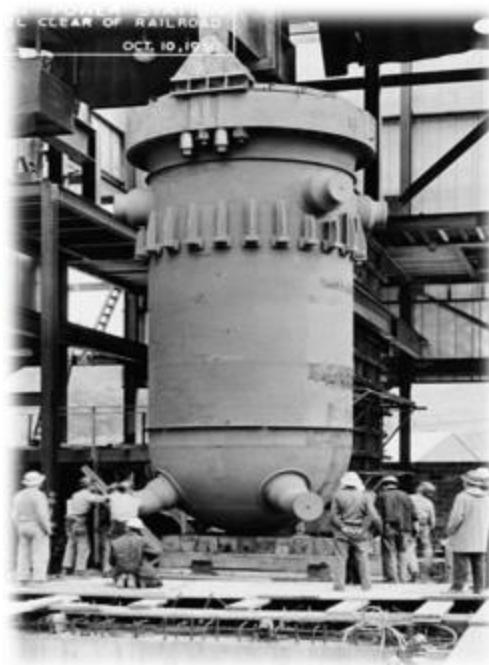
◆核反應-終止情形 (次臨界)



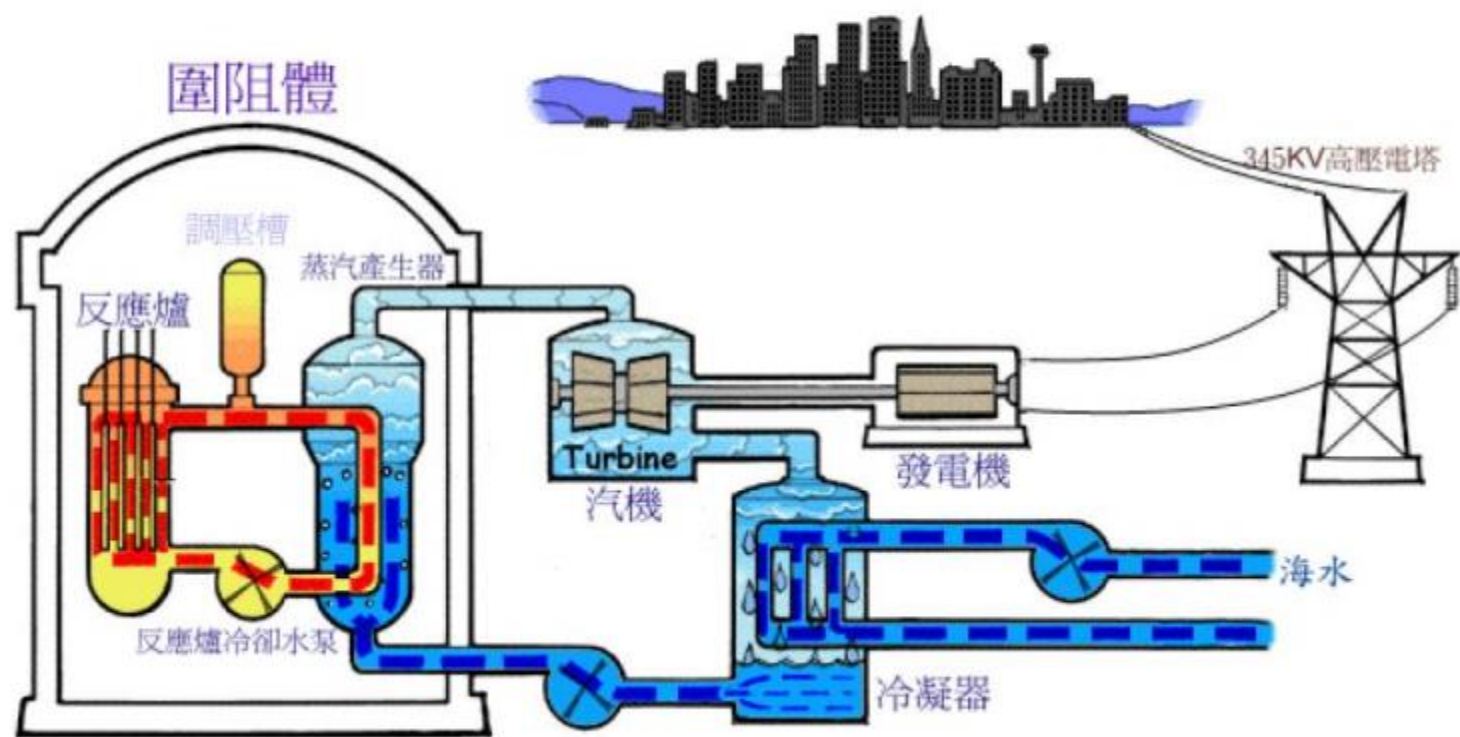
核能電廠系統

◆ 核反應器種類

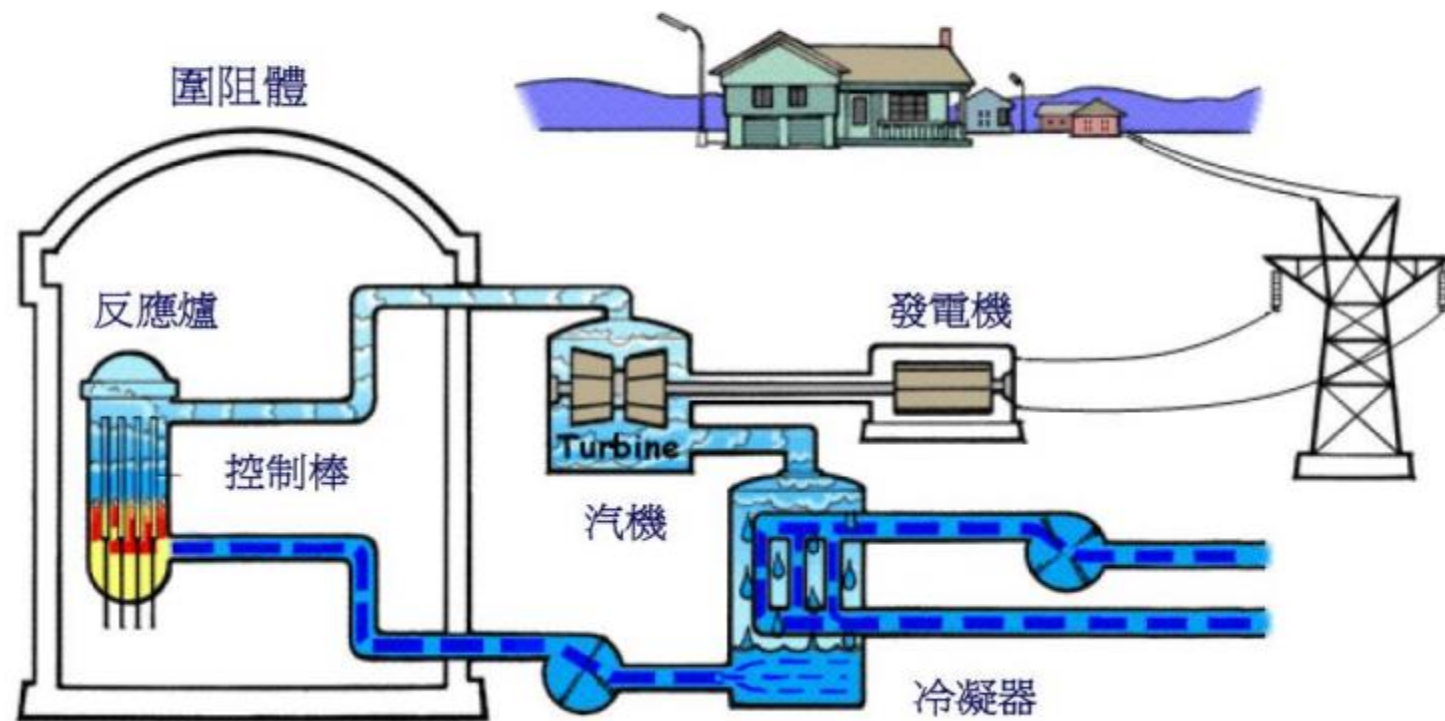
1. 輕水式 (Light Water Reactor; LWR)
 - 壓水式 (Pressurized water reactor; PWR)
 - 沸水式 (Boiling water reactor; BWR)
2. 重水式 (Heavy Water Reactor; HWR)
3. 進步型氣冷式 (Advanced Gas-Cooled Reactor; AGR)
4. 快中子增殖型 (Fast Breeder Reactor; FBR)



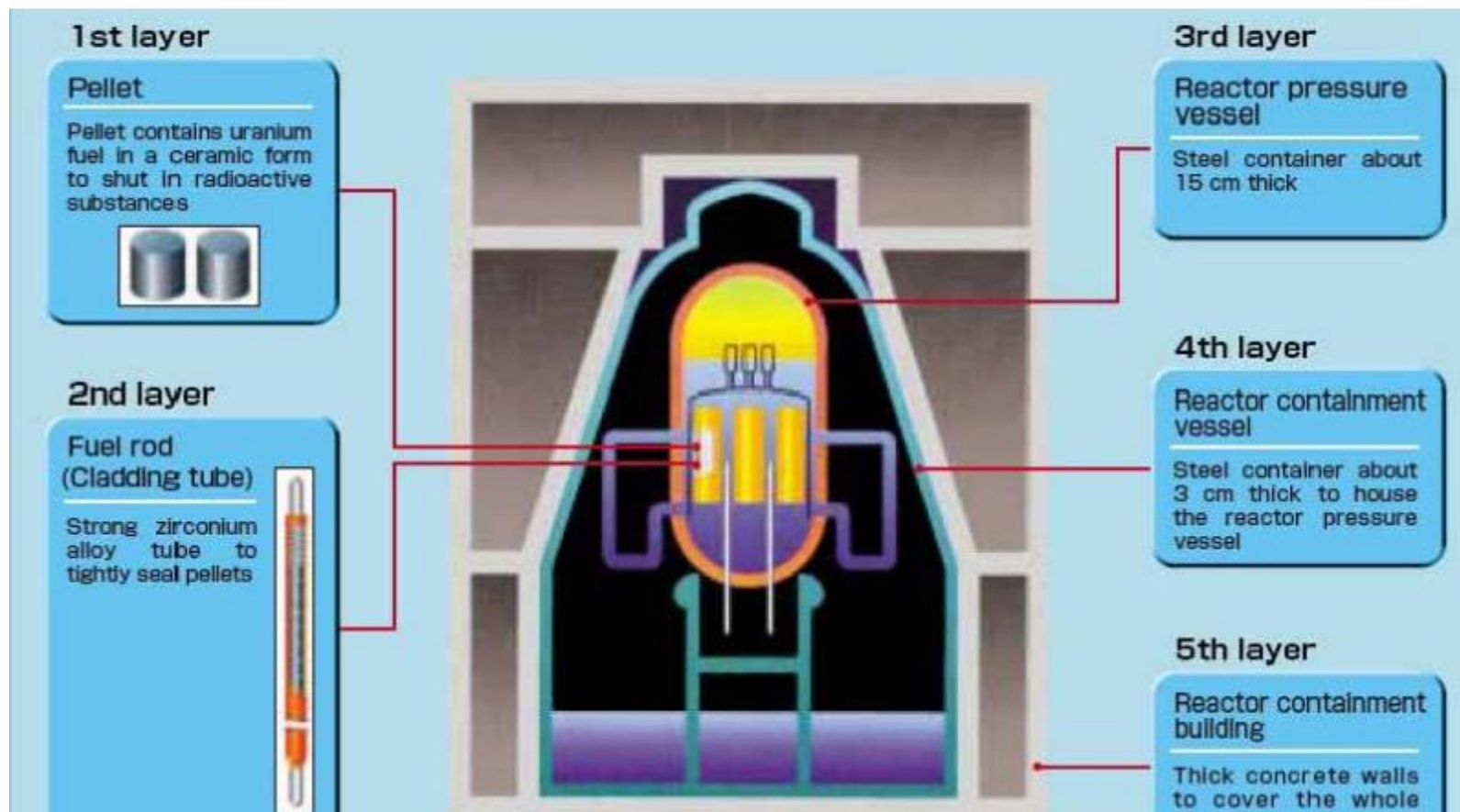
◆ 壓水式核反應器(Pressurized Water Reactor; PWR)



◆ 沸水式核反應器(Boiling Water Reactor; BWR)

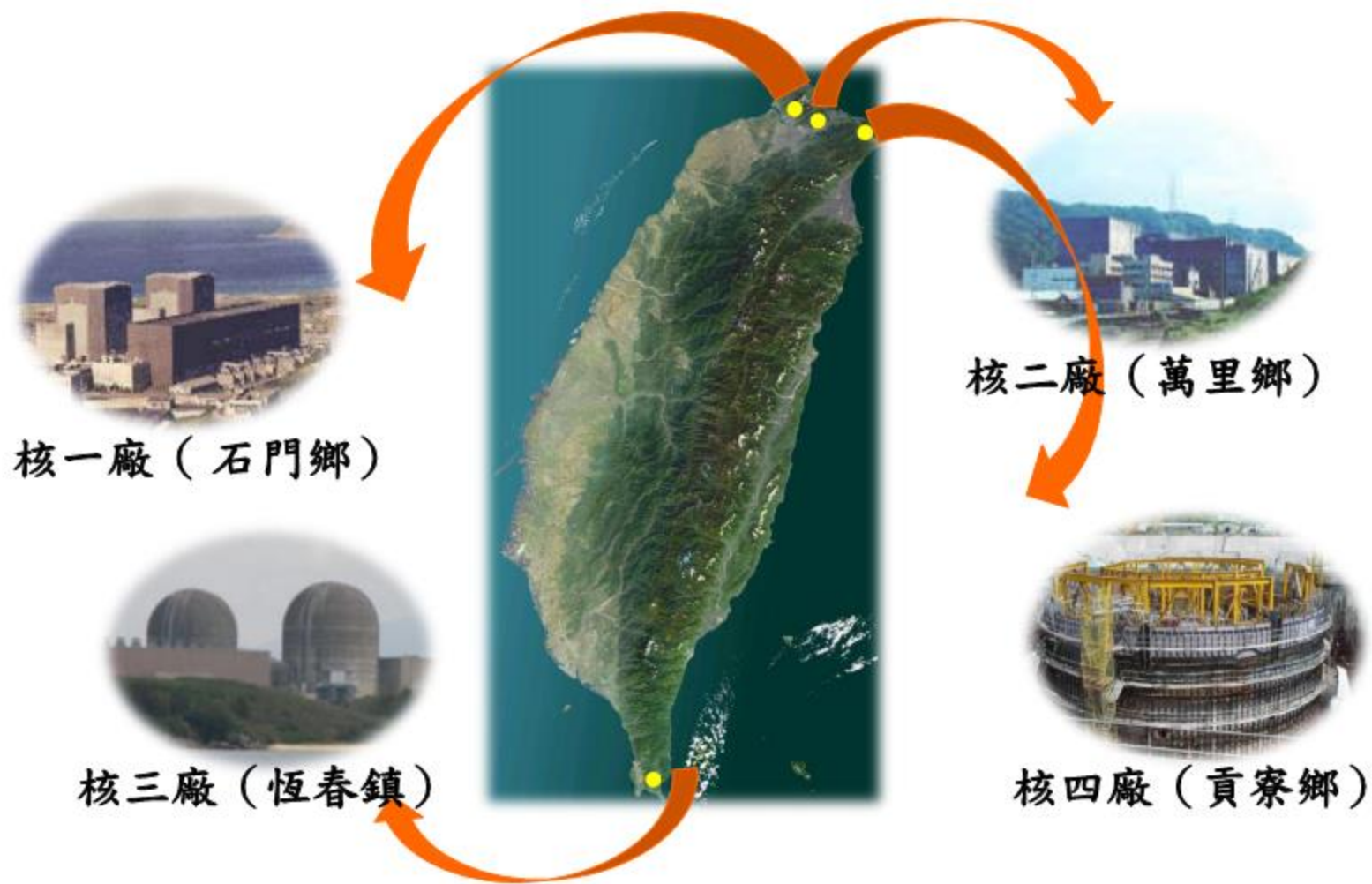


◆ 核能電廠結構（深度防禦）



核能電廠現況

◆ 台灣核能電廠現況



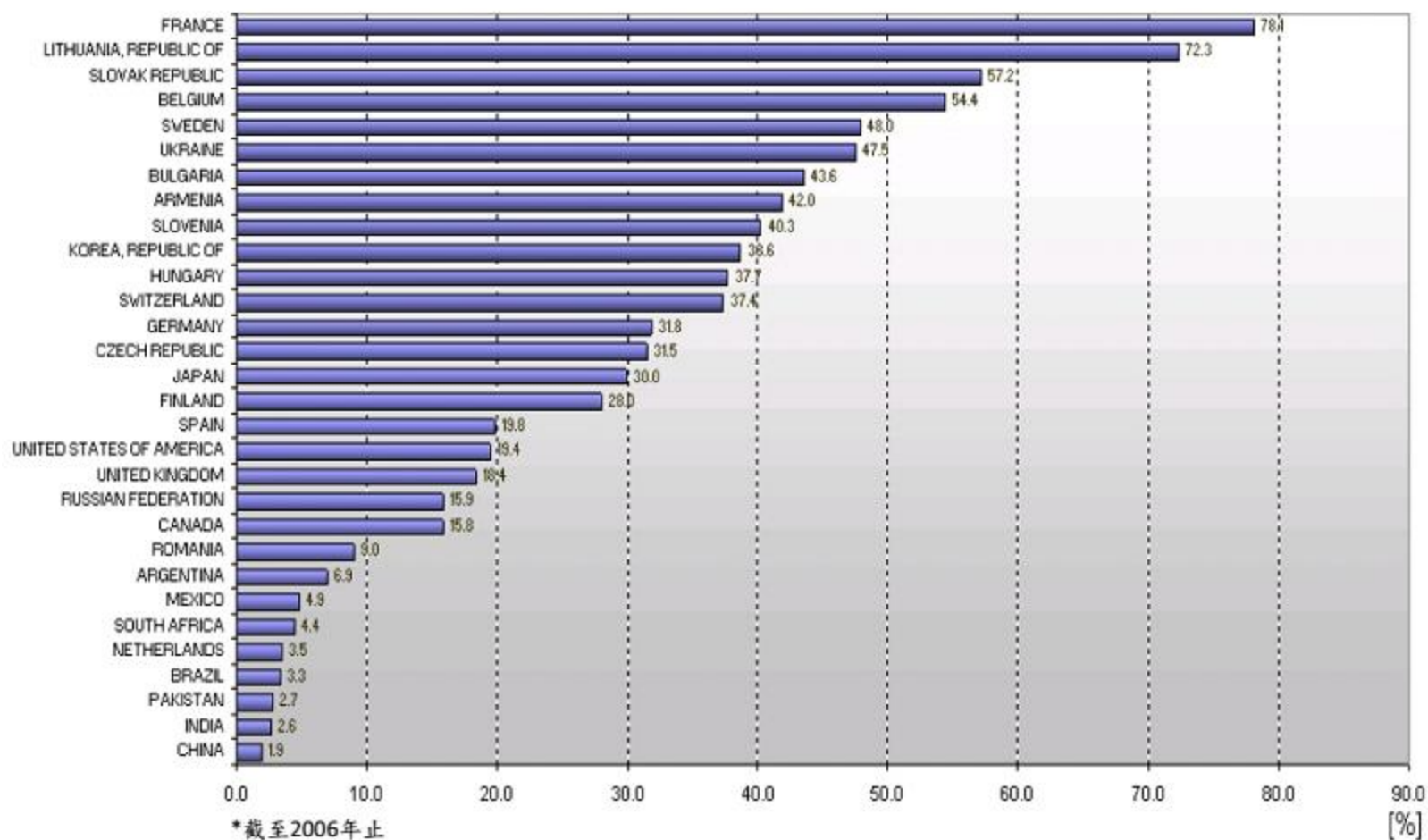
運轉中

機組名稱	毛裝置 容量 (MWe)	淨裝置 容量 (MWe)	反應器 型式	電力公司	反應器 供應商	建造日期	併聯日期	商轉日期	容量因數
Chinshan 1 (金山)	636	604	BWR	TPC	GE	1970-11	1977-11	1978-12	97.75
Chinshan 2 (金山)	636	604	BWR	TPC	GE	1970-11	1978-12	1979-07	87.35
Kuosheng 1 (國聖)	985	948	BWR	TPC	GE	1974-09	1981-05	1981-12	82.52
Kuosheng 2 (國聖)	985	948	BWR	TPC	GE	1974-09	1982-06	1983-03	94.29
Maanshan 1 (馬鞍山)	951	890	PWR	TPC	West	1978-01	1984-05	1984-07	84.82
Maanshan 2 (馬鞍山)	951	890	PWR	TPC	West	1978-01	1985-02	1985-05	86.84

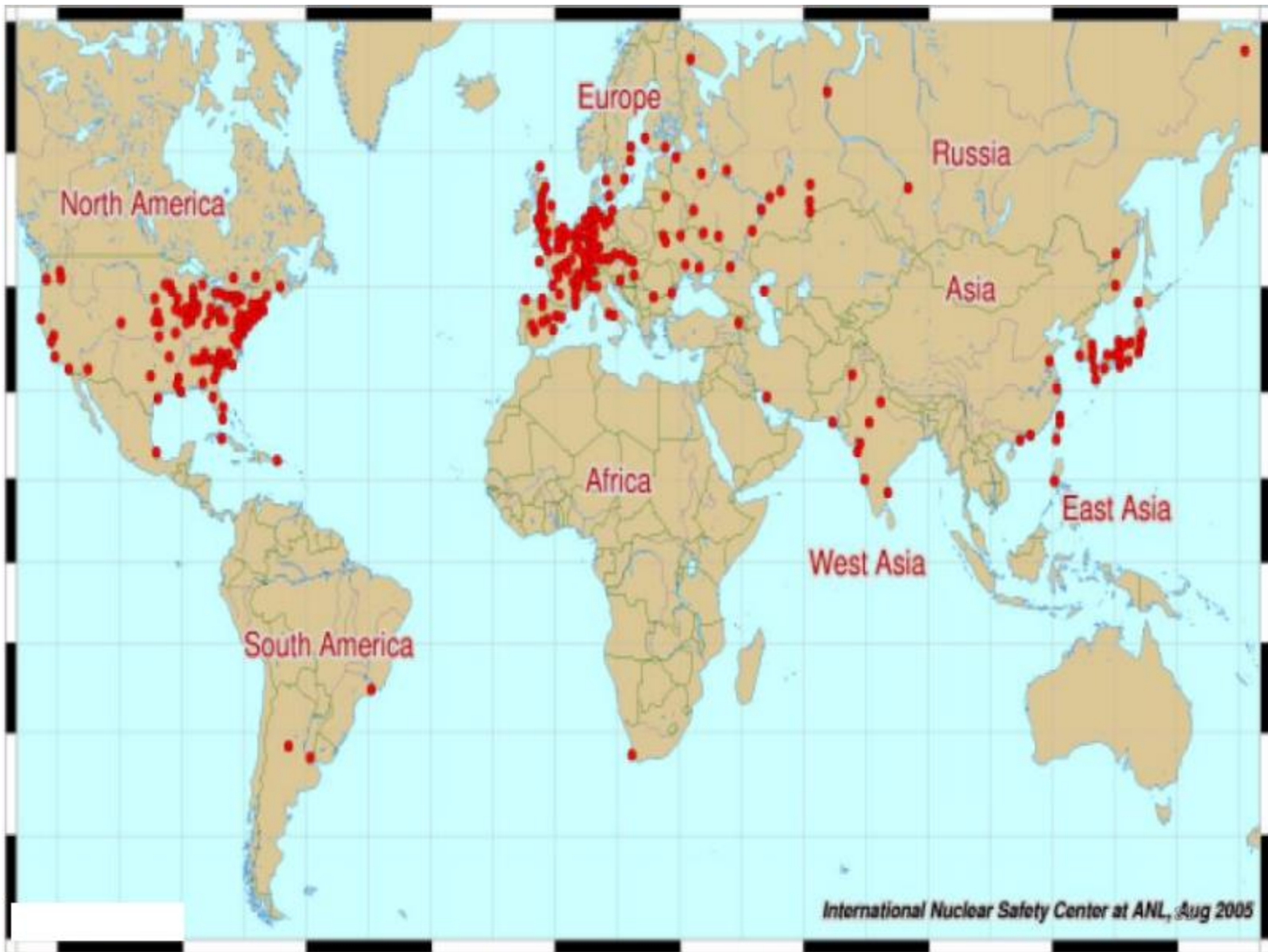
建造中

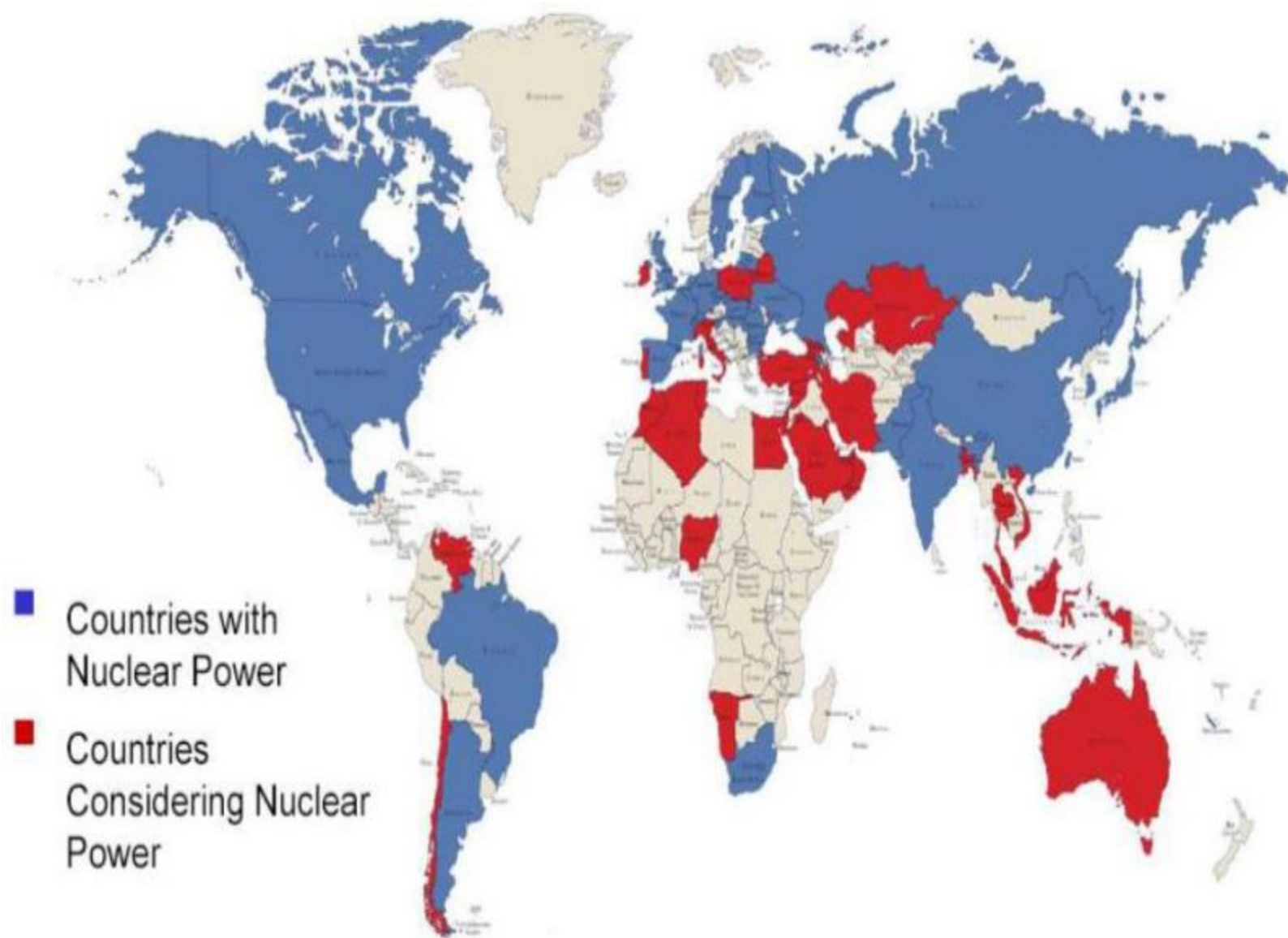
機組名稱	毛裝置 容量 (MWe)	淨裝置 容量 (MWe)	型式	電力公司	反應器 供應商	建造日期	併聯日期	商轉日期
Lungmen 1 (龍門)	-- --	1350	ABWR	TPC	GE	1999-03	未定	未定
Lungmen 2 (龍門)	-- --	1350	ABWR	TPC	GE	1999-08	未定	未定

◆ 世界各國核能電力供應佔全部電力百分比



國家	排序	核能發電量佔總 發電量之比率	國家	排序	核能發電量佔總 發電量之比率
法國	1	78.4%	斯洛文尼亞	9	40.3%
立陶宛	2	72.3%	韓國	10	38.6%
斯洛伐克	3	57.2%	匈牙利	11	37.7%
比利時	4	54.4%	瑞士	12	37.4%
瑞典	5	48.0%	德國	13	31.8%
烏克蘭	6	47.5%	捷克	14	31.5%
保加利亞	7	43.6%	日本	15	30.0%
亞美尼亞	8	42.0%	芬蘭	16	28.0%
* 迄公元2006年底，在全球有439部核能發電機組在運轉中，總裝置容量達371 GW(e)，建造中的則有31部機組。全球有核能發電之國家共32個（含我國），其中有16個國家之核能發電量超過其總發電量之四分之一，至於我國及美國之核能發電量則佔總發電量之19.3%及19.8%。					





◆ 各類能源發電之經濟成本評估

單位成本 \ 發電方式	核能	燃煤	石油	天燃氣	水力
單位發電成本(元/度)	0.67	0.87	1.95	2.75	2.24
外部成本(元/度)	0.28	2.60	3.82	0.97	0.08
單位總成本(元/度)	0.95	3.47	5.77	3.72	2.32
發電總成本(億元)	361	1,319	2,193	1,414	882
比核能昂貴(億元)	0	+ 958	+1,832	+1,053	+521
為核能倍率	1.00	3.65	6.07	3.92	2.44

◆ 各類能源發電之安全評估

發電方式	生命損失		受傷人數	
	每Twa死亡率	為核電倍數	每Twa死亡率	為核電倍數
燃煤	342	43	70	0.7
燃油	418	52	441	4.4
天然氣+液態天然氣	3,365	421	14,113	141
水力	883	110	195	2
核能	8	1	100	1

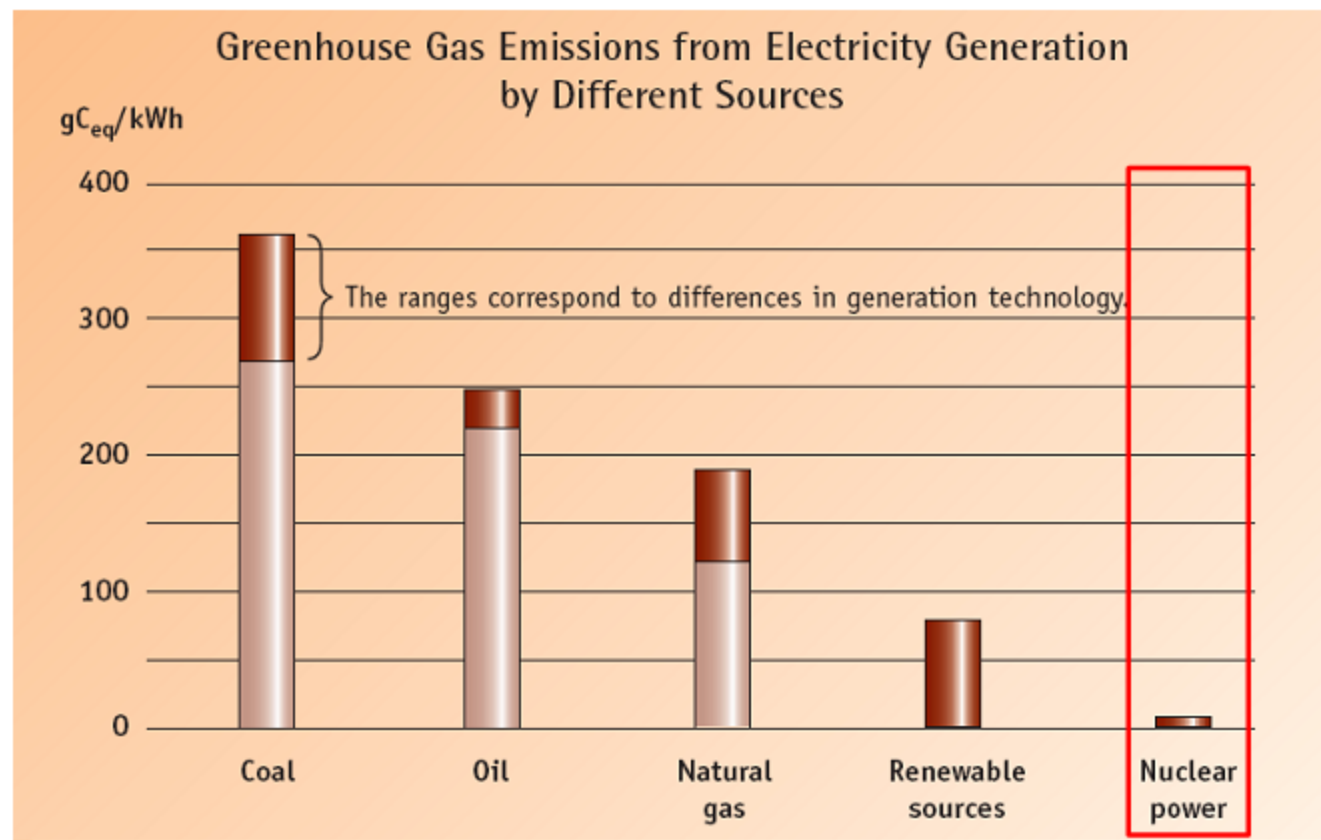
分析1969-1996年發生的1,943次重大能源事故，其中15,000多例與石油有關的死亡案例、8,000多例與煤有關、5,000例與水力有關。該報告結論摘要如表1與圖1。非常明顯地：

- 1.核能是風險最低的發電方式。其他傳統發電方式，風險都是核能的十到百倍以上。
- 2.各種發電方式中，唯一能與核能相提並論的清潔能源是水力發電，但其致命風險卻是核能的百倍。

◆ 各類能源發電對於環衝擊與影響評估

環境影響指標 (以核能為常規化基準)	發電方式					
	核能	燃煤	燃氣	水力	風力	太陽能
空氣污染						
CO ₂ 生命週期排放量(核能倍率)	1.0	63.3	32.0	0.5	1.1	4.4
CO ₂ 生命週期排放量(萬噸/年)	57	3,610	1,824	27	61	251
SO _x 排放量(萬噸/年)	0.0	10.0	6.5	0.0	0.0	0.0
NO _x 排放量(萬噸/年)	0.0	5.1	0.2	0.0	0.0	0.0
外部成本(核能倍率)	1.0	12.3	4.8	0.4	2.0	0.3
外部成本(億元/年)	106	988	369	39	236	35
土地成本						
電廠用地(平方公里)	14	4	4	6,100	4,875	773
植樹造林面積(平方公里)	285	18,050	9,120	135	305	1,255
總土地成本(平方公里)	299	18,054	9,124	6,235	5,180	2,028
總土地成本(核能倍率)	1.0	60.4	30.5	20.9	17.3	6.8
水資源消耗(萬噸/年)	212	986	466	5,600,000	不詳	不詳

◆ 各類能源發電對於溫室效應影響評估



核廢料

◆ 核廢料又稱放射性廢棄物

放射性廢棄物係指含有具放射性核種廢棄物

放射性廢棄物依其放射性活度可分為高放射性廢棄物與低放射性廢棄物

➤高放射性廢棄物：指備供最終處置之用過核子燃料或其經再處理所產生之萃取液或產物

➤低放射性廢棄物：指其他不屬於高放射性廢棄物者

放射性廢棄物來源：

(1) 核能電廠、(2) 醫、農、工、研等。

◆ 放射性廢料



放射性廢料

如何處理



減容與固化



運輸

- 有95 %的廢料都是「百年可解的家常便飯」，剩下來的5 %，只要適當處理，也都是「千年能解」。



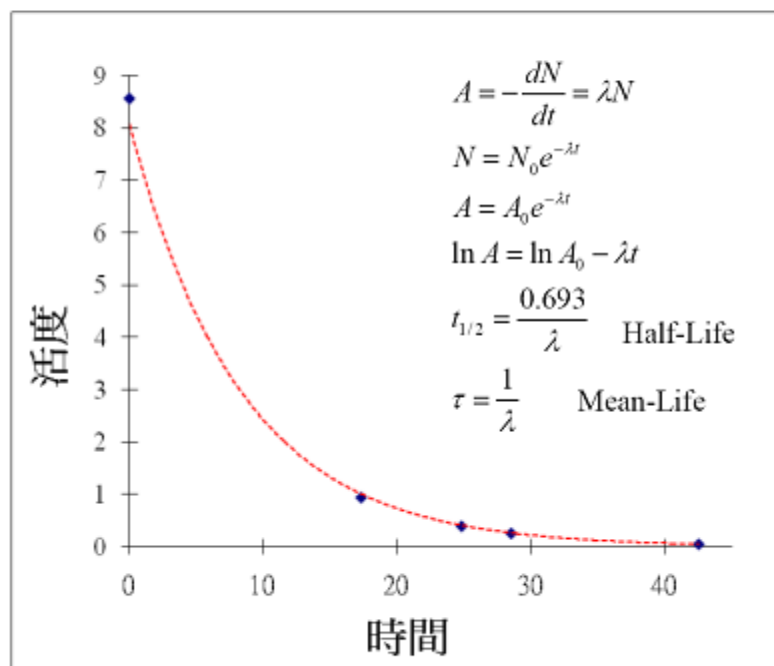
儲存



蘭嶼風情

◆ 放射性廢棄物特性

- 含一種或多種的放射性核種，其活度會隨時間的增長而遞減
- 會放出無色、無臭、無味、無聲的游離輻射
- 放射性廢棄物特性造成體內或體外輻射劑量
- 使用適當的裝置即可立刻決定游離輻射量是否會超出法規限值



◆ 放射性廢棄物來源與特性

- 放射性廢棄物所含之人工放射性核種來自：**核分裂**及**中子活化**
- 放射性廢棄物依其物理形態，可分為**氣態**、**液態**、**固態**三種
- 目前我國營運中三座核能電廠六部核能機組，都設有放射性廢棄物的處理系統

◆ 低階放射性廢棄來源與特性



核能電廠放射性廢氣的來源：

- 活化產物：以 ^{16}N 、 ^{41}Ar 及 ^3H (氚氣)為大宗。其中 ^{16}N 之加馬能量較高(6.13MeV)，其半衰期僅為7.13秒。 $^{16}\text{O}(\text{n,p})^{16}\text{N}$
- 分裂產物：以 ^{135}Xe 、 ^{88}Kr 、 ^{85}Kr 及 ^{131}I 為主。

核能電廠固態廢棄物的主要來源：

- 濕性放射性廢棄物：廢液處理後產生的廢樹脂、過濾殘渣及濃縮廢漿。
- 乾性放射性廢棄物：在運轉中，受污染的廢棄衣物、手套、工具、紙張、塑膠及機具等。

◆ 低階放射性廢棄物處理

➤ 乾性固體廢棄物通常再分為可燃廢棄物、可壓廢棄物與不可燃不可壓廢棄物。

➤ 可燃廢棄物經焚化處理、可壓廢棄物經壓縮處理，以減少廢棄物的體積。



◆ 低階放射性廢棄物處理

處理的目的：使放射性核種安定化、容易操作、減容減量，所以將液態放射性廢棄物處理成固態，再加以減容與固化，以利未來貯存、運送與最終處置。

➤ 各階段輻射防護設計，年有效劑量不得超過**0.25毫西弗**。



◆ 我國低階放射性廢料管理策略

低放射性廢棄物係採「減少產生、減容固化、安全貯存、妥善處置」之策略。

- 在減少產生方面：原能會已訂定減廢目標值，核能一、二、三廠的放射性廢棄物產生量，業已逐年減少。
- 在減容固化方面：廢棄物須先經過焚化、壓縮或固化處理後，再以鋼桶盛裝。

◆ 低階放射性廢棄物儲存廠

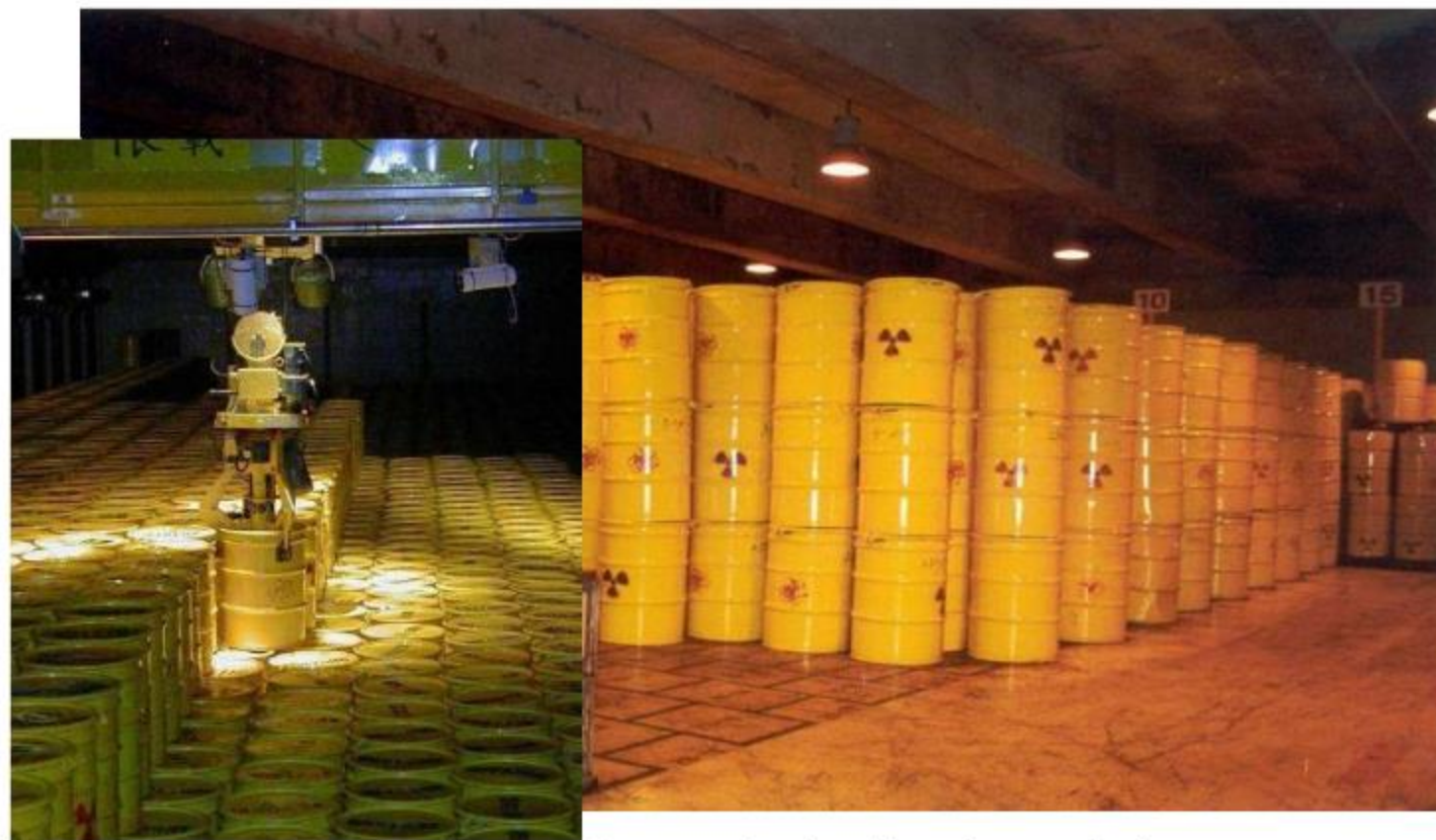


面積45.7 平方公里，人口4,183 人(2009 年2月)



核二廠現代化貯存庫（二號）



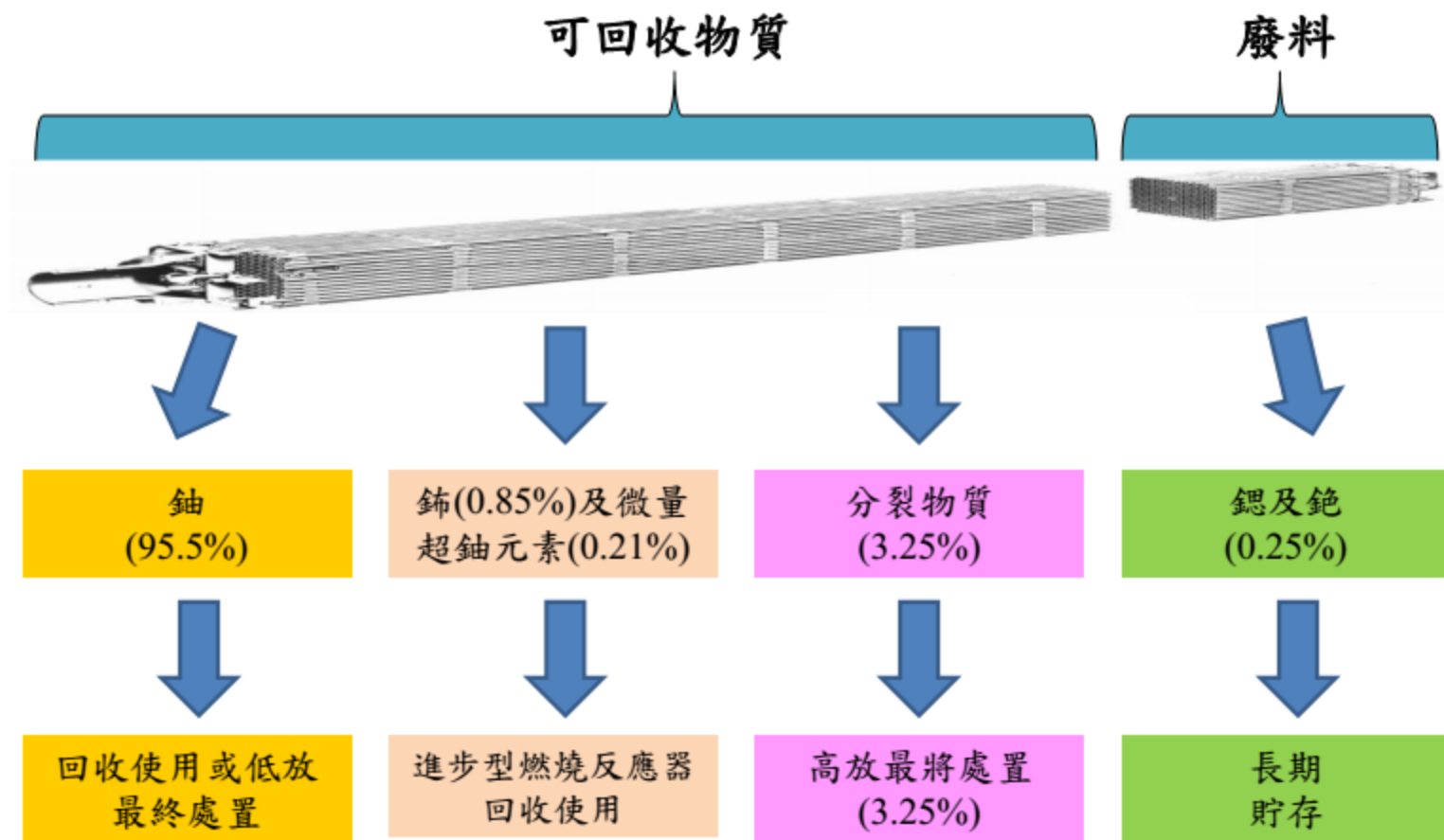


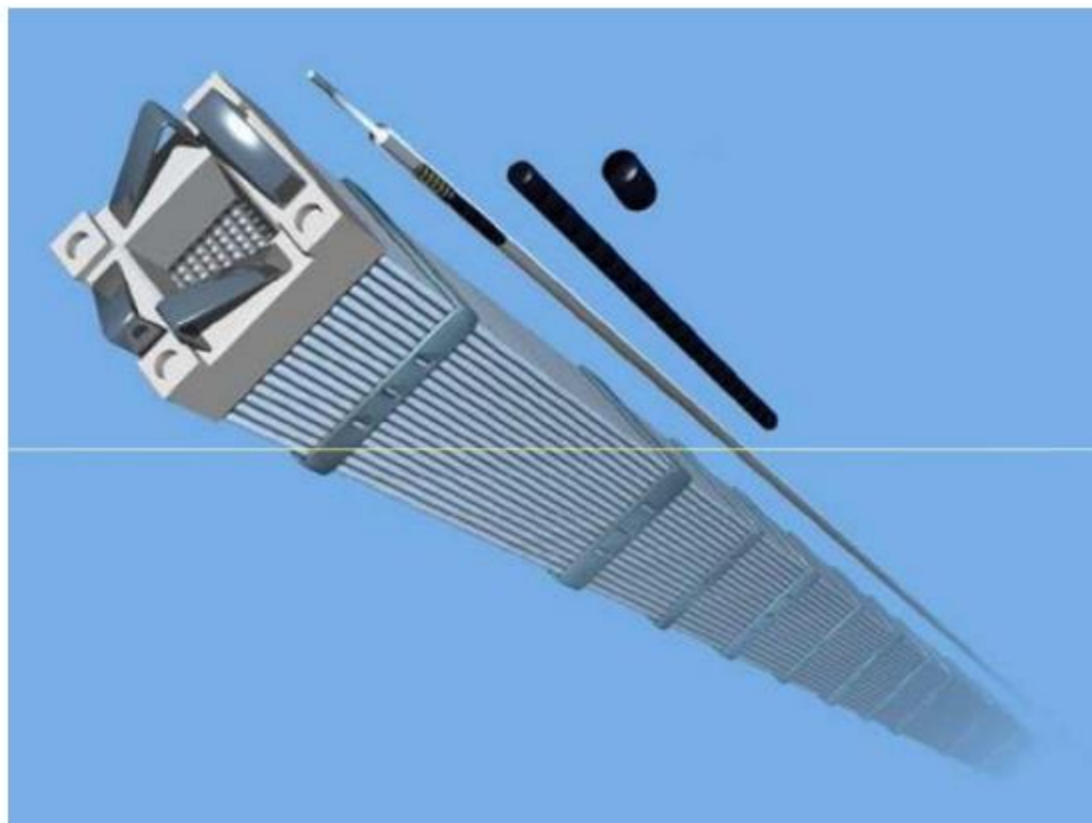
核二廠現代化貯存庫（二號）



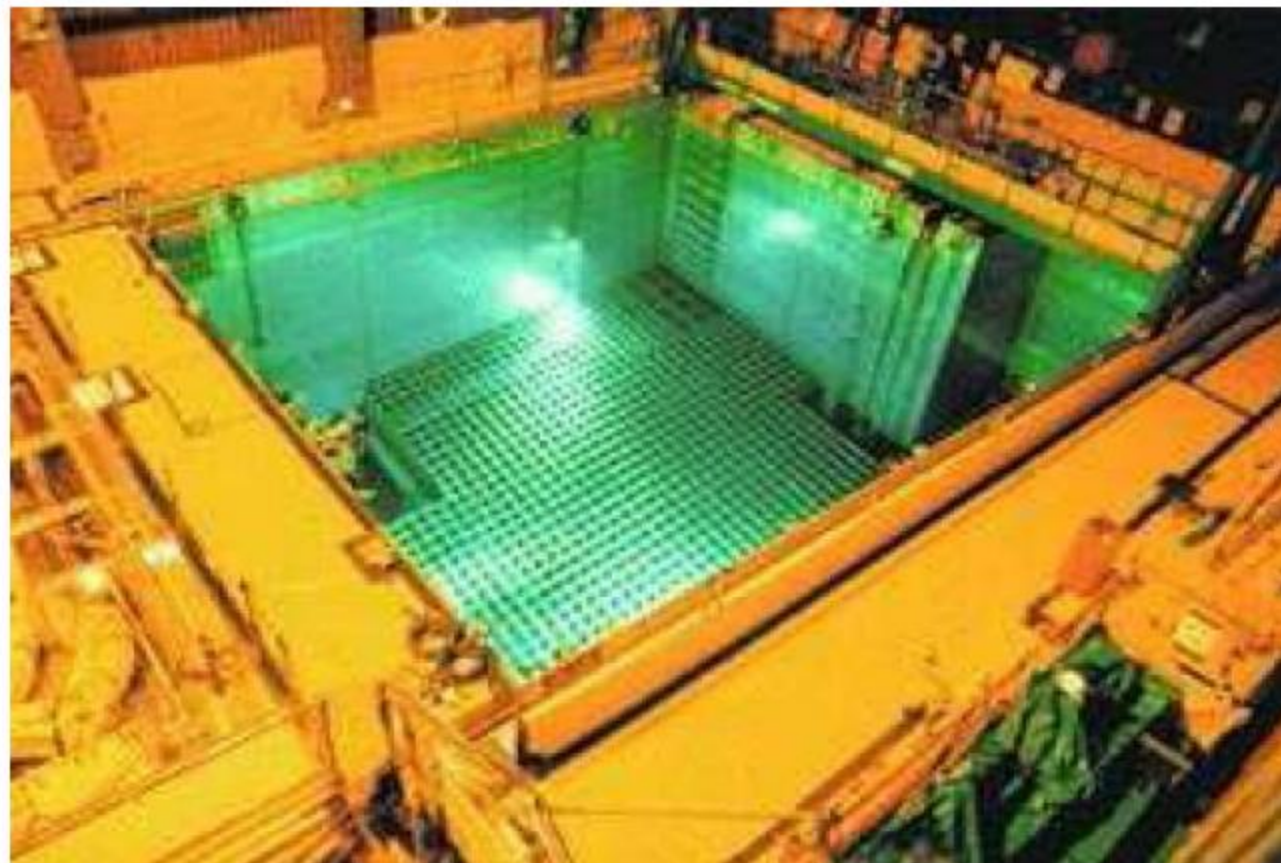
核二廠現代化貯存庫（三號）

◆ 用過核燃料

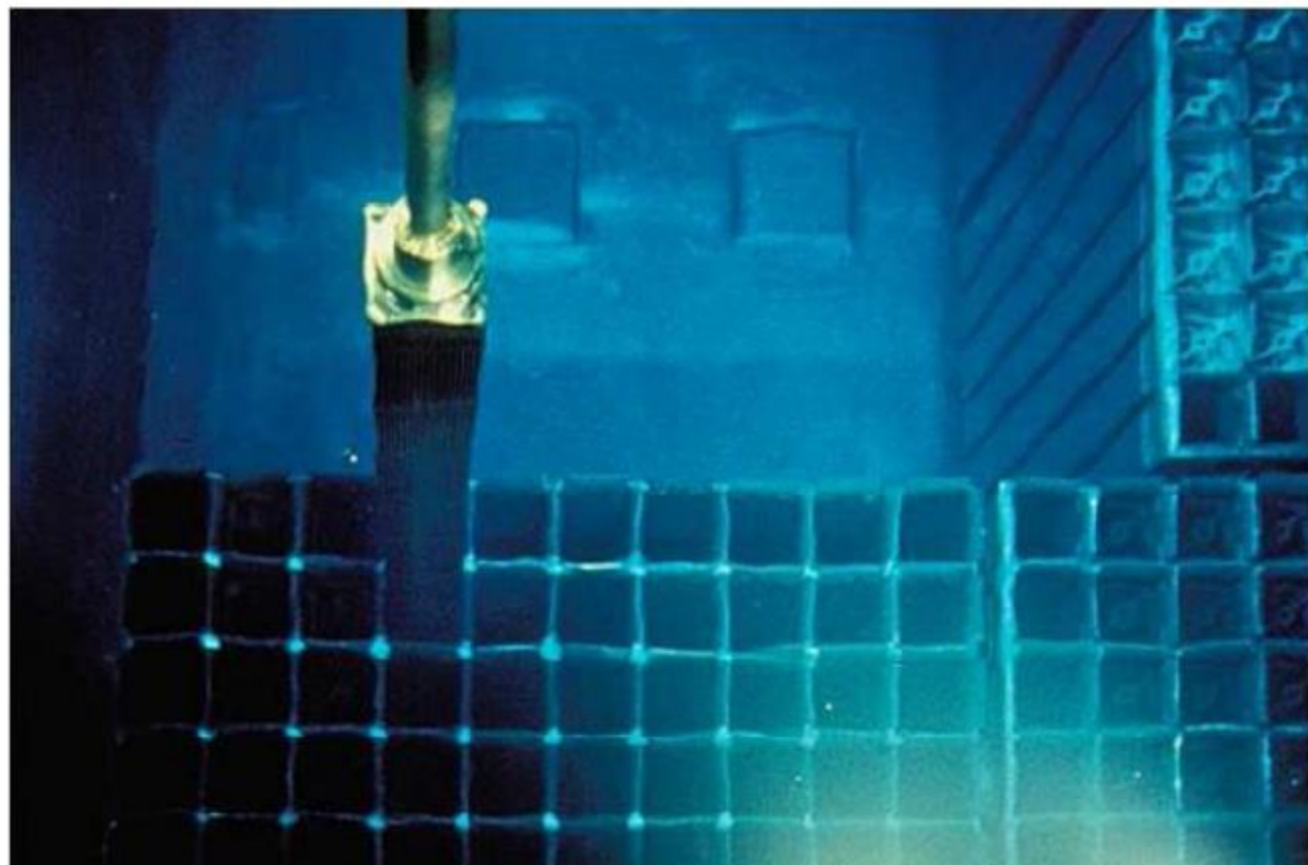




壓水式反應器核燃料束
一束核燃料所能產生的電力相當於7萬噸的煤或25萬桶的石油



用過核子燃料貯存水池



用過核子燃料貯存水池

◆ 我國現有核能電廠用過核子燃料貯存水池容量

	核燃料貯 存水池容 量 (組/束)	已貯存量		預估運轉40年 產量		40年運轉水 池容量不足 數量 (組/束)	預估水池容 量用完日期
		組/束	公噸	組/束	公噸		
核一廠	6,166	5,104	880	7,532	1,341	1,366	2010.3
核二廠	10,058	6,864	1,153	11,544	1,947	1,564	2016.9
核三廠	4,310	2,058	828	3,842	1,633	0	NA
核四廠	16,522	0	0	13,808	2,430	0	NA
總計	37,056			36,726	7,351	2,930	NA

◆ 高放射性廢棄物

用過核子燃料

用過核子燃料經再處理所產生之萃取液或產物

- 使用過核燃料: 內含大量之可用之鈾-235與鈾-239. 燃料中剩餘之U-235含量高於天然鈾之U-235含量
- 處理方式: 暫時儲存於電廠—濕式, 乾式集中儲存於特定場址-- 暫時(等待再處理)經適當包裝後深層地質掩埋—永久

◆ 用過核子燃料最終處置

1. 2002年12月25日總統簽署頒佈實施『放射性物料管理法』
2. 2003年7月30日公佈『放射性物料管理法施行細則』
3. 2004年11月16日台電公司完成「用過核子燃料最終處置計畫書(2004年版)」，並陳報原能會審查，經奉原能會於2006年7月13日核備該計畫書

計畫書之規劃時程如下：

- 「潛在處置母岩特性調查與評估階段」(2005~2017年)
- 「候選場址評選與核定階段」(2018~2028年)
- 「場址詳細調查與試驗階段」(2029~2038年)
- 「處置場設計與安全分析評估階段」(2039~2044年)
- 「處置場建造階段」(2045~2055年)

核能電廠事故

◆ 核能電廠事故

核事故 名稱	國家	年分	核事故 分級	總撤离 人數	撤离範圍(km)
車諾比	前蘇聯	1986	7	~300,000	~40
三哩島	美國	1979	5	~280,000	~30
福島	日本	2011	7	~200,000	~20

註：

1. 福島事件是人類首見的「地震、海嘯、輻射外洩」三合一災難
2. 原能會評估：以台灣核四來說，如意外需撤离至10公里的話，將超過20萬人

◆ 核能電廠事故-車諾比核災



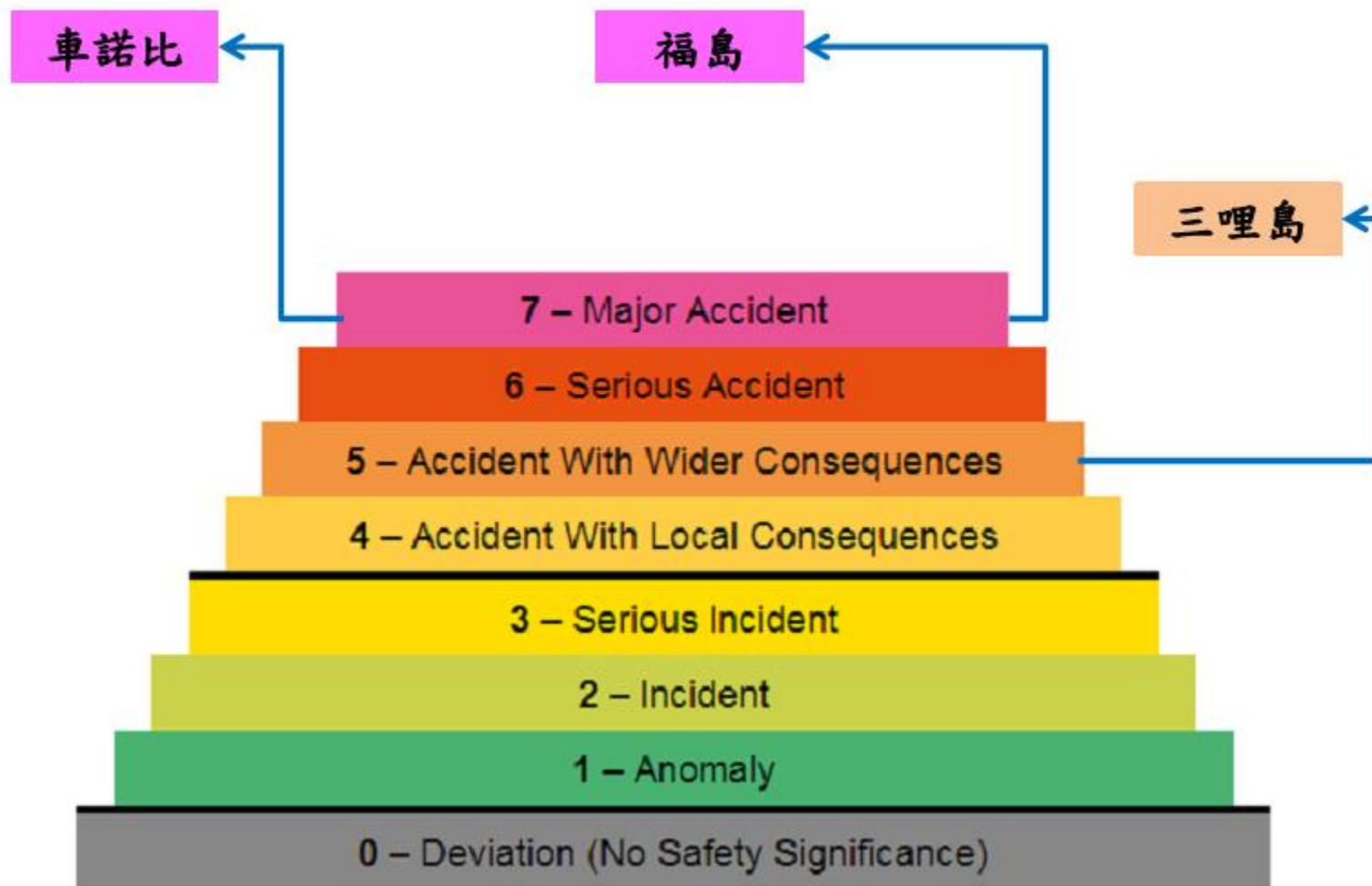
◆ 核能電廠事故-福島第一核電廠事故

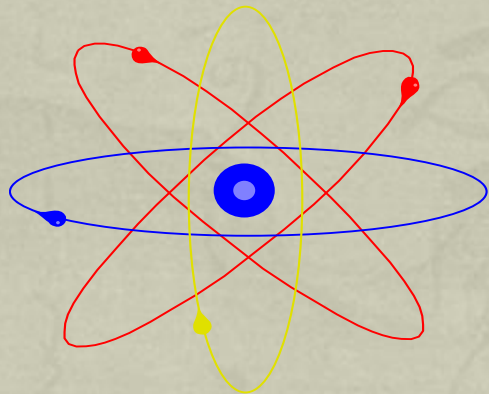


◆ 核能電廠事故-三哩島事件



◆ 國際核事件分級表(INES)





輻射安全證書18小時訓練課程

游離輻射防護法

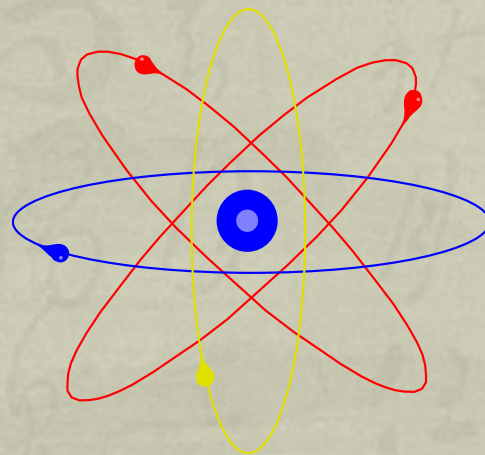
大綱：

壹、前言

貳、法規簡介

參、輻防法施行細則與輻防法之
關係及子法

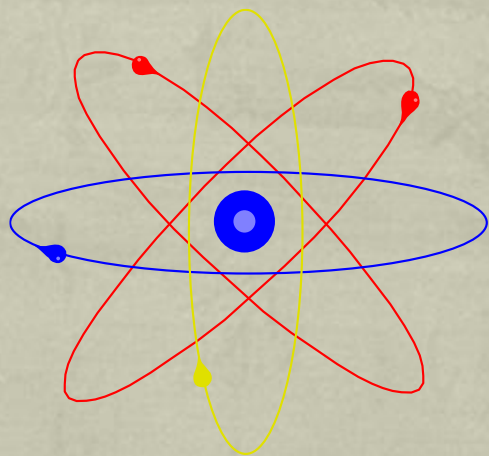
肆、案例介紹



壹、前言

- 一、輻射防護法所管制事項主要分為「**輻射安全防護**」及「**放射物質、可發生游離輻射設備或輻射作業管理**」。
- 二、管制之行為，管制「**人**」和「**物**」所組成的**輻射作業**。
- 三、游離輻射防護法經立法院三讀通過，並於民國91年1月30日經總統公佈實施。

貳、法規簡介



(一)人的管制的法規有：

- 1、游離輻射防護法
- 2、游離輻射防護法施行細則
- 3、游離輻射防護安全標準
- 4、輻射防護管理組職及輻射防護人員設置標準
- 5、輻射防護人員管理辦法
- 6、放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法
- 7、放射性物質生產設施運轉人員管理辦法
- 8、高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法
- 9、輻射醫療曝露品質保證組職與專業人員設置及委託相關機構管理辦法
- 10、輻射工作人員特別健康檢查項目

(二)物的管制的法規有：

- 1、游離輻射防護法
- 2、游離輻射防護法施行細則
- 3、放射性物質與發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法
- 4、放射性物質安全運送規則
- 5、商品輻射限量標準
- 6、輻射醫療曝露品質保證標準
- 7、輻射源豁免管制標準
- 8、放射性污染建築物事件防範及處理辦法
- 9、天然放射性物質管理辦法

(三)、「雇主」(人)：

1. 從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。
但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，
得使十六歲以上未滿十八歲者參與輻射作業。
(輻防法第14條第1項)
2. 任何人不得令未滿十六歲者從事或參與輻射作業。
(輻防法第14條第2項)
3. 雇主對告知懷孕之女性輻射工作人員，應即檢討其工作條件，以確保妊娠期間胚胎或胎兒所受之曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定；其有超過之虞者，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整。
(輻防法第14條第3項)

4. 雇主對在職之輻射工作人員應定期實施從事輻射作業之防護及預防輻射意外事故所必要之教育訓練，並保存紀錄。
(輻防法第14條第4項)
5. 確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測。但經評估輻射作業對輻射工作人員一年之曝露不可能超過劑量限度之一定比例者，得以作業環境監測或個別劑量抽樣監測代之。
(輻防法第15條第1項)
6. 雇主對輻射工作人員實施劑量監測結果，應依主管機關之規定記錄、保存、告知當事人。
(輻防法第15條第4項)
7. 雇主僱用輻射工作人員時，應要求其實施體格檢查；對在職之輻射工作人員應實施定期健康檢查，並依檢查結果為適當之處理。
(輻防法第16條第1項)

8. 輻射工作人員因一次意外曝露或緊急曝露所接受之劑量超過五十毫西弗以上時，雇主應即予以包括特別健康檢查、劑量評估、放射性污染清除、必要治療及其他適當措施之特別醫務監護。
(輻防法第16條第2項)
9. 前項輻射工作人員經特別健康檢查後，雇主應就其特別健康檢查結果、曝露歷史及健康狀況等徵詢醫師、輻射防護人員或專家之建議後，為適當之工作安排。
(輻防法第16條第3項)
10. 健康檢查及特別醫護監護之費用，由雇主負擔。體格檢查、健康檢查及特別醫護監護之紀錄，雇主應依主管機關之規定保存。
(輻防法第16條第4、5項)

(四)、設施經營者方面(物)：

1. 設施經營者應依其輻射作業之規模及性質，依主管機關之規定，設輻射防護管理組織或置輻射防護人員，實施輻射防護作業。
(輻防法 第7條第1項)
2. 輻射防護作業，設施經營者應先擬訂輻射防護計畫，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。
(輻防法第7條第2項)
3. 設施經營者應確保其輻射作業對輻射工作場所以外地區造成之輻射強度與水中、空氣中及污水下水道中所含放射性物質之濃度，不超過游離輻射防護安全標準之規定。前項污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。
(輻防法第8條)

4. 輻射工作場所排放含放射性物質之廢氣或廢水者，設施經營者應實安全評估，並報請主管機關核准後，始得為之。前項排放，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。

(輻防法第9條)

5. 設施經營者應依主管機關規定，依其輻射工作場所之設施、輻射作業特性及輻射曝露程度，劃分輻射工作場所為管制區及監測區。管制區內應採取管制措施；監測區內應為必要之輻射監測，輻射工作場所外應實施環境輻射監測。

(輻防法第10條第1項)

6. 場所劃分、管制、輻射監測及場所外環境輻射監測，應擬訂計畫，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。

(輻防法第10條第2項)

7. 境輻射監測結果，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。
(輻防法第10條第3項)

8. 輻射工作場所發生重大輻射意外事故且情況急迫時，為防止災害發生或繼續擴大，以維護公眾健康及安全，設施經營者得依主管機關之規定採行緊急曝露。
(輻防法第12條)

9. 設施經營者於下列事故發生時，應採取必要之防護措施，並立即通知主管機關：(輻防法第13條第1項)天霸王條款、天條

(1)、人員接受之劑量超過游離輻射防護安全標準之規定者。

(2)、輻射工作場所以外地區之輻射強度或其水中、空氣中或污水下水道中所含放射性物質之濃度超過游離輻射防護安全標準之規定者。本款污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。

(3)、放射性物質遺失或遭竊者。

(4)、其他經主管機關指定之重大輻射事故。

10.設施經營者除應依相關規定負責清理外，並應依規定實施調查、分析、記錄及於期限內向主管機關提出報告。

(輻防法第13條第3項)

11.事故發生時，除採取必要之防護措施外，非經主管機關核准，不得移動或破壞現場。

(輻防法第13條第4項)

(五)、輻射工作人員方面：

1. 從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，得使十六歲以上未滿十八歲者參與輻射作業。
(輻防法第14條第1項)
2. 職之輻射工作人員應定期實施從事輻射作業之防護及預防輻射意外事故所必要之教育訓練，有接受之義務。
(輻防法第14條第5項)
3. 輻射工作人員對於體格檢查、定期檢查、特別醫護監護，有接受之義務。
(輻防法第16條第7項)

(六)放射性物質、可發生游離輻射 設備或輻射作業之管理

「放射性物質」及「可發生游離輻射設備」，
可分為許可類、登記備查類。

輻射源管理

項目	說明	設備		密封物質		非密封物質	
		登記	許可	登記	許可	登記	許可
輻射安全測試報告	首次轉入或進口時執行，若為放射性物質需含擦拭報告	✓	✓	✓	✓	✓	✓
年度偵測	許可類每年度需執行一次		✓		✓		✓
5年換照	許可類每5年進行換照(自行進行輻射安全測試報告，原能會派員檢查)		✓		✓		✓
輻射安全測試報告(每5年)	登記類每5年自行進行輻射安全測試(報告留存備查)	✓		✓		✓	
定期擦拭報告	密封射源(依法規頻率) 非密封射源作業場所(每週或每次作業後)			✓	✓	✓	✓
每月動態申報	物質執照每月申報			✓	✓		
廢水廢氣報告	非密封作業場所每半年申報					✓	✓

(七) 審查、發照

1. 放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業，應依主管機關之指定申請許可或登記備查。

(輻防法第29條第1項)

2. 經指定應申請許可者，應向主管機關申請審查，經許可或發給許可證後，始得進行輻射作業。

(輻防法第29條第2項)

3. 經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。

(輻防法第29條第3項)

4. 物質、設備或作業涉及醫用者，並應符合中央衛生法規之規定。
(輻防法第29條第6項)

5. 放射性物質之生產與其設施之建造及可發生游離輻射設備之製造，
非經向主管機關申請審查，發給許可證，不得為之。
(輻防法第30條第6項)

(八) 要求合格人員

- 1.操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應受主管機關指定之訓練，並領有輻射安全證書或執照。但領有輻射相關執業執照經主管機關認可者或基於教學需要在合格人員指導下從事操作訓練者，不在此限。

(輻防法第31條第1項)

(1).輻射防護師或輻射防護員

(2).領有輻射安全證書者

(3).放射科醫師或放射師

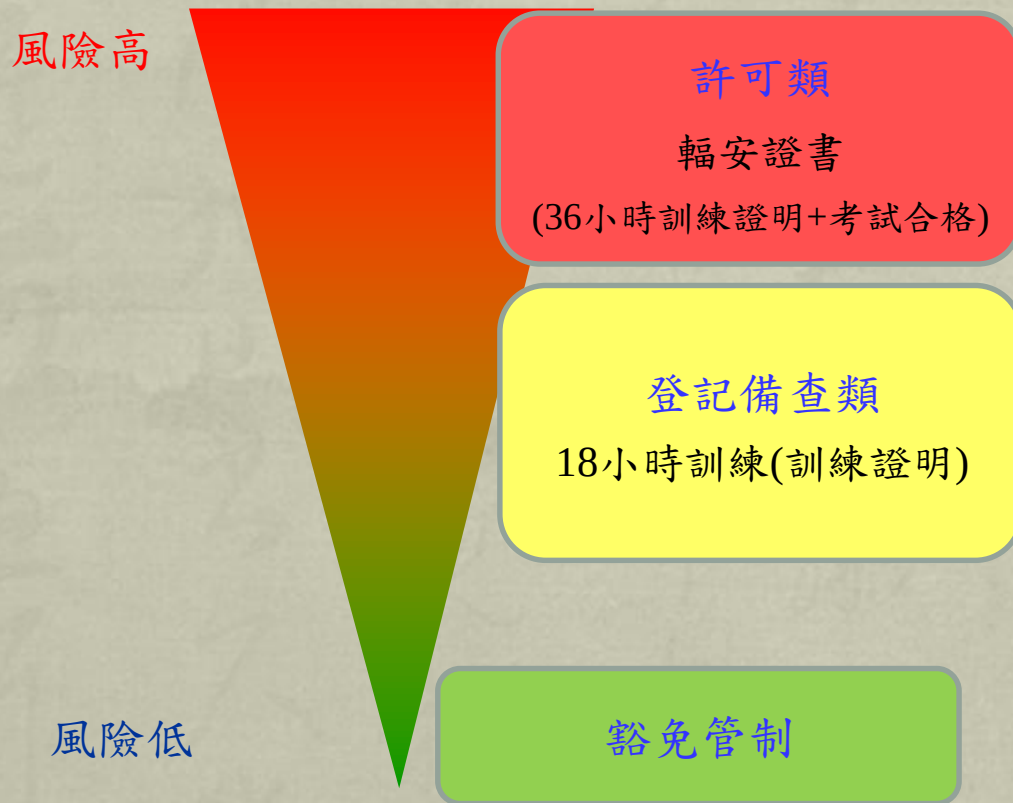
(4).18小時以訓練取代輻射安全證書者

輻防相關證照

證書類型	18小時訓練取代證書	輻射安全證書	輻射防護員	輻射防護師
取得參加考試資格之訓練時數	18小時 或 輻防相關課程2學分以上	36小時 或 輻防相關課程4學分以上	108小時 或 輻防相關課程6學分以上(理、工、醫、農科系畢業)	144小時 或 輻防相關課程8學分以上(理、工、醫、農科系畢業)
訓練辦理單位	輻射防護訓練業務者 或設施經營者	輻射防護訓練業務者	輻射防護訓練業務者	輻射防護訓練業務者
	設施經營者辦理訓練前檢具參訓人員姓名、訓練時間及地點、訓練課程及時數、師資之資料，報請主管機關備查。相關資料並應記錄及保存至少十年			
考試辦理機關	輻射防護訓練業務者	原子能委員會	原子能委員會	原子能委員會
資格取得	訓練合格即取得	考試及格並向本會申請取得輻安證書	考試及格＋一定期間之輻防工作訓練，並向本會申請取得證書	考試及格＋一定期間之輻防工作訓練，並向本會申請取得證書

■ 操作人員資格

年齡限制: 以年滿18歲為主，16-18歲(教學或訓練，劑量限度另有規定)。



取得訓練證明之方式:

- 參加訓練業者課程
(18小時/36小時)
- 單位自行辦理課程
(18小時)

(九) 換照

- 1.核發之許可證，其有效期間最長為五年。期滿需繼續輻射作業者，應於屆滿前，依主管機關規定期限申請換發。
(輻防法第32條第1項)
- 2.許可證有效期間內，設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，每年至少偵測一次，提報主管機關偵測證明備查，
(輻防法第32條第3項)
- 3.許可證或登記備查之記載事項有變更者，設施經營者應自事實發生之日起三十日內，向主管機關申請變更登記。
(輻防法第33條)

(十) 停止使用與在使用

1.放射性物質、可發生游離輻射設備之使用或其生產製造設施之運轉，其所需具備之安全條件與原核准內容不符者，設施經營者應向主管機關申請核准停止使用或運轉，並依核准之方式封存或保管。
(輻防法第34條第1項)

2.前項停止使用之放射性物質、可發生游離輻射設備或停止運轉之生產製造設施，其再使用或再運轉，應先報請主管機關核准，始得為之。
(輻防法第34條第2項)

(1).未依第三十四條第一項規定，報請主管機關核准停止使用或運轉，持續達一年以上。

(2).核准停止使用或運轉期間，經主管機關認定有污染環境、危害人體健康且無法改善或已不堪使用。

(3).經主管機關廢止其許可證。

(十一) 永久停止使用

1.放射性物質、可發生游離輻射設備之永久停止使用或其生產製造設施之永久停止運轉，設施經營者應將其放射性物質或可發生游離輻射設備列冊陳報主管機關，並退回原製造或銷售者、轉讓、以放射性廢棄物處理或依主管機關規定之方式處理，其處理期間不得超過三個月。但經主管機關核准者，得延長之。

(輻防法第35條第1項)

2.放射性物質、可發生游離輻射設備或其生產製造設施有下列情形之一者，視為永久停止使用或運轉，應依前條之規定辦理。

(1).未依第三十四條第一項規定，報請主管機關核准停止使用或運轉，持續達一年以上。

(2).核准停止使用或運轉期間，經主管機關認定有污染環境、危害人體健康且無法改善或已不堪使用。

(3).經主管機關廢止其許可證。

(十二) 游離輻射安全標準

第 7 條

輻射工作人員職業曝露之劑量限度，依下列規定：

- 一、每連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。
- 二、眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。
- 三、皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過五百毫西弗。

第 10 條

十六歲以上未滿十八歲者接受輻射作業教學或工作訓練，其個人年劑量限度依下列規定：

- 一、有效劑量不得超過六毫西弗。
- 二、眼球水晶體之等價劑量不得超過五十毫西弗。
- 三、皮膚或四肢之等價劑量不得超過一百五十毫西弗。

第 12 條

輻射作業造成一般人之年劑量限度，依下列規定：

- 一、有效劑量不得超過一毫西弗。
- 二、眼球水晶體之等價劑量不得超過十五毫西弗。
- 三、皮膚之等價劑量不得超過五十毫西弗。

游離輻射防護標準

	輻射作人員職業 曝露劑量限 度	16歲以上未滿 18歲輻射作業 或工作訓練曝 露年劑量限度	一般人之年劑 量限度
有效劑量	每5年不得超過100 毫西弗，且任單一 年內不得超過50毫 西弗	不得超過6毫西弗	不得超過1毫西弗
眼球水晶體	單一年內等價劑量 不得超過150毫西 弗	等價劑量不得超過 50毫西弗	等價劑量不得超過 15毫西弗
皮膚或四肢	單一年內等價劑量 不得超過500毫西 弗	等價劑量不得超過 150毫西弗	皮膚等價劑量不得 超過50毫西弗 (一般人不談四肢)

(十三)放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法

第二章 申請輸入、轉讓、輸出、過境或轉口之許可

第 5 條

輸入放射性物質或可發生游離輻射設備者，申請人應填具申請書，並檢附下列文件，向主管機關申請審查合格後，發給許可：

- 一、原廠輻射安全測試中文或英文結果文件。
- 二、型錄及圖說。
- 三、放射性物質應另檢附運送說明相關文件。

申請輸入登記備查之可發生游離輻射設備者，應將前項第一款、第二款文件自行留存備查，免送主管機關審查。

同一廠牌型式之放射性物質或可發生游離輻射設備經審查核准者，再行申請輸入時，得免附第一項各款文件。

領有主管機關核發之非密封放射性物質使用許可證或經主管機關同意登記之設施經營者，申請輸入時，得免附第一項各款文件。

第 7 條

轉讓放射性物質或可發生游離輻射設備者，讓與人與受讓人應共同填具申請書，向主管機關申請審查合格後，發給許可。

前項申請轉讓放射性物質，應另檢附運送說明相關文件。

領有主管機關核發之非密封放射性物質使用許可證或經主管機關同意登記之設施經營者，申請非密封放射性物質轉讓時，得免附前項文件。

第 14 條

輸入、轉讓、輸出許可之有效期間為半年。

第三章 申請使用、安裝、改裝或持有之許可、許可證或登記備查

第 17 條

使用下列可發生游離輻射設備者，申請人應向主管機關**申請登記備查**：

一、公稱電壓為十五萬伏（150kV）或粒子能量為十五萬電子伏（150keV）以下者。

第 25 條

經主管機關**同意登記**之放射性物質或可發生游離輻射設備，**其設施經營者應每五年於同意登記月份之前後三個月內，實施輻射安全測試，並留存紀錄備查。**

第 27 條

放射性物質或可發生游離輻射設備，遷移新址或變更作業場所而涉及安裝或改裝者，設施經營者應分別依第十八條、第二十二條及第二十三條安裝或改裝規定申請使用許可證或登記備查。

領有非密封放射性物質使用許可證或經主管機關同意登記之設施經營者，增加使用場所、核種數量或活度，應分別依第十九條及第二十四條規定申請使用許可證或登記備查。

叁、輻防法施行細則與輻防法 之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要 李鏡和

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第一章 總則	
第1條 為防制游離輻射之危害，維護人民健康及安全，特依輻射作業必須合理抑低其輻射劑量之精神制定本法；本法未規定者，適用其他有關法律之規定。	
第2條 本法用詞定義如下： 一、游離輻射：指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。 二、放射性：指核種自發衰變時釋出游離輻射之現象。 三、放射性物質：指可經由自發性核變化釋出游離輻射之物質。 四、可發生游離輻射設備：指核子反應器設施以外，用電磁場、原子核反應等方法，產生游離輻射之設備。 五、放射性廢棄物：指具有放射性或受放射性物質污染之廢棄物，包括備供最終處置之用過核子燃料。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

六、輻射源：指產生或可產生游離輻射之來源，包括放射性物質、可發生游離輻射設備或核子反應器及其他經主管機關指定或公告之物料或機具。

七、背景輻射：指下列之游離輻射：

(一) 宇宙射線。

(二) 天然存在於地殼或大氣中之天然放射性物質釋出之游離輻射。

(三) 一般人體組織中所含天然放射性物質釋出之游離輻射。

(四) 因核子試爆或其他原因而造成含放射性物質之全球落塵釋出之游離輻射。

八、曝露：指人體受游離輻射照射或接觸、攝入放射性物質之過程。

九、職業曝露：指從事輻射作業所受之曝露。

一〇、醫療曝露：指在醫療過程中病人及其協助者所接受之曝露。

一一、緊急曝露：指發生事故之時或之後，為搶救遇險人員，阻止事態擴大或其他緊急情況，而有組織且自願接受之曝露。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

- 一二、輻射作業：指任何引入新輻射源或曝露途徑、或擴大受照人員範圍、或改變現有輻射源之曝露途徑，從而使人們受到之曝露，或受到曝露之人數增加而獲得淨利益之人類活動。包括對輻射源進行持有、製造、生產、安裝、改裝、使用、運轉、維修、拆除、檢查、處理、輸入、輸出、銷售、運送、貯存、轉讓、租借、過境、轉口、廢棄或處置之作業及其他經主管機關指定或公告者。
- 一三、干預：指影響既存輻射源與受曝露人間之曝露途徑，以減少個人或集體曝露所採取之措施。
- 一四、設施經營者：指經主管機關許可、發給許可證或登記備查，經營輻射作業相關業務者。
- 一五、雇主：指僱用人員從事輻射作業相關業務者。
- 一六、輻射工作人員：指受僱或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員。
- 一七、西弗：指國際單位制之人員劑量單位。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要——李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
一八、劑量限度：指人員因輻射作業所受之曝露，不應超過之劑量值。 一九、污染環境：指因輻射作業而改變空氣、水或土壤原有之放射性物質含量，致影響其正常用途，破壞自然生態或損害財物。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 3 條 本法之 主管機關 ，為行政院原子能委員會。	
第 4 條 天然放射性物質、背景輻射及其所造成之曝露，不適用本法之規定。但有影響公眾安全之虞者，主管機關得經公告之程序，將其納入管理；其辦法，由主管機關定之。	授權訂定 「天然放射性物質管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第二章 輻射安全防護	
第5條 為限制輻射源或輻射作業之輻射曝露，主管機關應參考國際放射防護委員會最新標準訂定游離輻射防護安全標準，並應視實際需要訂定相關導則，規範輻射防護作業基準及人員劑量限度等游離輻射防護事項。	授權訂定 「游離輻射安全標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 6 條 為確保放射性物質運送之安全，主管機關應訂定放射性物質安全運送規則，規範放射性物質之包裝、包件、交運、運送、貯存作業及核准等事項。	授權訂定 「放射性物質運送規則」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..

第 7 條

設施經營者應依其輻射作業之規模及性質，依主管機關之規定，設輻射防護管理組織或置輻射防護人員，實施輻射防護作業。

前項輻射防護作業，設施經營者應先擬訂**輻射防護計畫**，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。

第一項輻射防護管理組織及人員之設置標準、輻射防護人員應具備之資格、證書之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之管理辦法，由主管機關會商有關機關定之。

細則條文與子法

授權訂定

「輻射防護管理組織及輻射人員設置標準」、「輻射防護人員管理辦法」細則：

第 2 條 設施經營者依本法第七條第二項規定擬訂輻射防護計畫，應參酌下列事項規劃：

- 一、輻射防護管理組織及權責。
- 二、人員防護。
- 三、醫務監護。
- 四、地區管制。
- 五、輻射源管制。
- 六、放射性物質廢棄。
- 七、意外事故處理。
- 八、合理抑低措施。
- 九、紀錄保存。
- 一〇、其他主管機關指定之事項。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 8 條 設施經營者應確保其輻射作業對輻射工作場所以外地區造成之輻射強度與水中、空氣中及污水下水道中所含放射性物質之濃度，不超過游離輻射防護安全標準之規定。 前項污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 9 條

輻射工作場所排放含放射性物質之廢氣或廢水者，設施經營者應實施輻射安全評估，並報請主管機關核准後，始得為之。

前項排放，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。

細則條文與子法

細則：

第 3 條 設施經營者依本法第九條第一項規定實施輻射安全評估，應以書面載明下列事項，向主管機關申請核准：

- 一、輻射作業說明。
- 二、計劃排放廢氣或廢水所含放射性物質之性質、種類、數量、核種及活度。
- 三、場所外圍情況描述。
- 四、防止環境污染之監測設備與處理程序及設計。
- 五、其他主管機關指定之事項。設施經營者依本法第九條第二項規定記錄含放射性物質廢氣或廢水之排放，應載明排放之日期、所含放射性物質之種類、數量、核種、活度、監測設備及其校正日期。

前項排放紀錄，除報經主管機關核准者外，應於每年七月一日至十五日及次年一月一日至十五日之期間內向主管機關申報；其保存期限，除屬核子設施者為十年外，餘均為三年。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 10 條

設施經營者應依主管機關規定，依其**輻射工作場所之設施、輻射作業特性及輻射暴露程度**，劃分輻射工作場所為**管制區及監測區**。管制區內應採取管制措施；監測區內應為必要之輻射監測，輻射工作場所外應實施環境輻射監測。

前項場所劃分、管制、輻射監測及場所外環境輻射監測，應擬訂計畫，報請主管機關核准後實施。未經核准前，不得進行輻射作業。

第一項環境輻射監測結果，應依主管機關之規定記錄及申報並保存之。

第二項計畫擬訂及其作業之準則，由主管機關定之。

細則條文與子法

授權訂定

「輻射工作場所管理與場所外境輻射監測作業準則」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 11 條 主管機關得隨時派員檢查輻射作業及其場所；不合規定者，應令其限期改善；未於期限內改善者，得令其停止全部或一部之作業；情節重大者，並得逕予廢止其許可證。 主管機關為前項處分時，應以書面敘明理由。但情況急迫時，得先以口頭為之，並於處分後七日內補行送達處分書。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

第 12 條

輻射工作場所發生重大輻射意外事故且情況急迫時，為防止災害發生或繼續擴大，以維護公眾健康及安全，設施經營者得依主管機關之規定採行緊急曝露。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 13 條*(天條)

設施經營者於下列事故發生時，應採取必要之防護措施，並立即通知主管機關：

- 一、人員接受之劑量超過游離輻射防護安全標準之規定者。
- 二、輻射工作場所以外地區之輻射強度或其水中、空氣中或污水下水道中所含放射性物質之濃度超過游離輻射防護安全標準之規定者。本款污水下水道不包括設施經營者擁有或營運之污水處理設施、腐化槽及過濾池。
- 三、放射性物質遺失或遭竊者。
- 四、其他經主管機關指定之重大輻射事故。

主管機關於接獲前項通知後，應派員檢查，並得命其停止與該事故有關之全部或一部之作業。

第一項事故發生後，設施經營者除應依相關規定負責清理外，並應依規定實施調查、分析、記錄及於期限內向主管機關提出報告。

設施經營者於第一項之事故發生時，除採取必要之防護措施外，非經主管機關核准，不得移動或破壞現場。

細則條文與子法

細則：

第 4 條 設施經營者依本法第十三條第三項規定向主管機關提出實施調查、分析及記錄之報告，應載明下列事項：

- 一、含人、事、時、地、物之事故描述。
- 二、事故原因分析。
- 三、輻射影響評估。
- 四、事故處理經過、善後措施及偵測紀錄。
- 五、檢討改善及防範措施。
- 六、其他經主管機關指定之事項。

前項報告，除報經主管機關核准者外，應於事故發生之日起或自知悉之日起三十日內，向主管機關提出之。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 14 條

從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，得使十六歲以上未滿十八歲者參與輻射作業。

任何人不得令未滿十六歲者從事或參與輻射作業。

雇主對告知懷孕之女性輻射工作人員，應即檢討其工作條件，以確保妊娠期間胚胎或胎兒所受之曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定；其有超過之虞者，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整。

雇主對在職之輻射工作人員應定期實施從事輻射作業之防護及預防輻射意外事故所必要之教育訓練，並保存紀錄。

輻射工作人員對於前項教育訓練，有接受之義務。

第一項但書規定之特別限制情形與第四項教育訓練之實施及其紀錄保存等事項，由主管機關會商有關機關定之。

細則條文與子法

細則：第 5 條

雇主依本法第十四條第四項規定對在職之輻射工作人員定期實施之教育訓練，應參酌下列科目規劃，且每人每年受訓時數須為三小時以上，其中二分之一訓練時數得以播放錄影帶、光碟或視訊等方式代之，並保存紀錄：

- 一、輻射基礎課程。
- 二、輻射度量及劑量。
- 三、輻射生物效應。
- 四、輻射防護課程。
- 五、原子能相關法規。
- 六、安全作業程序及工作守則。
- 七、主管機關提供之相關資訊。

前項訓練之授課人員，應由輻射防護人員，或於教育部認可之國內、外大專校院相關科系畢業，且在公、私立機構、學校、研究單位從事輻射防護實務工作五年以上之人員擔任。

依第一項規定所為之紀錄，應記載參加訓練人員之姓名與參加訓練之時間、地點、時數、訓練科目、授課人員及授課方式等相關資料，並至少保存十年。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 15 條

為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測。但經評估輻射作業對輻射工作人員一年之曝露不可能超過劑量限度之一定比例者，得以作業環境監測或個別劑量抽樣監測代之。

前項但書規定之一定比例，由主管機關定之。

第一項監測之度量及評定，應由主管機關認可之人員劑量評定機構辦理；人員劑量評定機構認可及管理之辦法，由主管機關定之。

雇主對輻射工作人員實施劑量監測結果，應依主管機關之規定記錄、保存、告知當事人。

主管機關為統計、分析輻射工作人員劑量，得自行或委託有關機關(構)、學校或團體設置人員劑量資料庫。

細則條文與子法

授權訂定

「人員輻射劑量評定機構認可及管理辦法」

細則

第 6 條

本法第十五條第一項但書所定劑量限度之一定比例，為劑量限度之十分之三；其有效劑量為六毫西弗，眼球水晶體之等價劑量為五十毫西弗，皮膚或四肢之等價劑量為一百五十毫西弗。

本法第十五條第一項但書所稱作業環境監測，指作業場所具備有用於監測工作位置之輻射劑量（率）監測器，且其監測結果足以代表輻射工作人員所接受之劑量。

第 7 條 雇主依本法第十五條第一項規定對輻射工作人員實施個別劑量監測，應記錄每一輻射工作人員之職業曝露歷史紀錄，並依規定定期及逐年記錄每一輻射工作人員之職業曝露紀錄。

前項紀錄，雇主應自輻射工作人員離職或停止參與輻射工作之日起，至少保存三十年，並至輻射工作人員年齡超過七十五歲。輻射工作人員離職時，雇主應向其提供第一項之紀錄。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

第 16 條

雇主僱用輻射工作人員時，應要求其實施體格檢查；對在職之輻射工作人員應實施定期健康檢查，並依檢查結果為適當之處理。

輻射工作人員因一次意外曝露或緊急曝露所接受之劑量超過五十毫西弗以上時，雇主應即予以包括特別健康檢查、劑量評估、放射性污染清除、必要治療及其他適當措施之特別醫務監護。

前項輻射工作人員經特別健康檢查後，雇主應就其特別健康檢查結果、曝露歷史及健康狀況等徵詢醫師、輻射防護人員或專家之建議後，為適當之工作安排。

第一項健康檢查及第二項特別醫務監護之費用，由雇主負擔。

第一項體格檢查、健康檢查及第二項特別醫務監護之紀錄，雇主應依主管機關之規定保存。

第二項所定特別健康檢查，其檢查項目由主管機關會同中央衛生主管機關定之。

輻射工作人員對於第一項之檢查及第二項之特別醫務監護，有接受之義務。

細則

第 8 條 本法第十六條第一項所定之體格檢查、定期健康檢查及第五項之紀錄保存，準用勞工健康保護規則之規定。

第 9 條 本法第十六條第二項所稱意外曝露，指於不可預料情況下接受超過劑量限度之曝露；所稱劑量，指有效劑量。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..

第 17 條

為提昇輻射醫療之品質，減少病人可能接受之曝露，醫療機構使用經主管機關公告應實施醫療曝露品質保證之放射性物質、可發生游離輻射設備或相關設施，應依醫療曝露品質保證標準擬訂醫療曝露品質保證計畫，報請主管機關核准後始得為之。

醫療機構應就其規模及性質，依規定設醫療曝露品質保證組織、專業人員或委託相關機構，辦理前項醫療曝露品質保證計畫相關事項。

第一項醫療曝露品質保證標準與前項醫療曝露品質保證組織、專業人員設置及委託相關機構之管理辦法，由主管機關會同中央衛生主管機關定之。

細則條文與子法

授權訂定

「輻射醫療曝露品質保證組織與專業人員設置及委託相關機構管理辦法」

「輻射醫療曝露品質保證標準」

細則：

第 10 條 本法第十七條第一項、第二項及第十八條所稱醫療機構，指依醫療法規定供醫師執行醫療業務之機構及依醫事放射師法規定設立之醫事放射所。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	法細則條文與子法
第 18 條 醫療機構對於協助病人接受輻射醫療者，其有遭受曝露之虞時，應事前告知及施以適當之輻射防護。	
第 19 條 主管機關應選定適當場所，設置輻射監測設施及採樣，從事環境輻射監測，並公開監測結果。	
第 20 條 主管機關發現公私場所有遭受輻射曝露之虞時，得派員攜帶證明文件進入檢查或偵測其游離輻射狀況，並得要求該場所之所有人、使用人、管理人或其他代表人提供有關資料。 前項之檢查或偵測，主管機關得會同有關機關為之。	
第 21 條 商品非經主管機關許可，不得添加放射性物質。 前項放射性物質之添加量，不得逾越主管機關核准之許可量。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 22 條 商品對人體造成之輻射劑量，於有影響公眾健康之虞時，主管機關應會同有關機關實施輻射檢查或偵測。 前項商品經檢查或偵測結果，如有違反標準或有危害公眾健康者，主管機關應公告各該商品品名及其相關資料，並命該商品之製造者、經銷者或持有者為一定之處理。 前項標準，由主管機關會商有關機關定之。	授權訂定 「商品輻射限量標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要——李鏡和

游離輻射防護法..

第 23 條

為防止建築材料遭受放射性污染，主管機關於必要時，得要求相關廠商實施原料及產品之輻射檢查、偵測或出具無放射性污染證明。其管理辦法，由主管機關定之。

前項原料、產品之輻射檢查、偵測及無放射性污染證明之出具，應依主管機關之規定或委託主管機關認可之機關(構)、學校或團體為之。

第一項建築材料經檢查或偵測結果，如有違反前條第三項規定之標準者，依前條第二項規定處理。

第二項之機關(構)、學校或團體執行第一項所訂業務應以善良管理人之注意為之，並負忠實義務。

細則條文與子法

授權訂定

「放射性污染建築物事件防範級處理辦法」

細則：

第 11 條 本法第二十三條第二項所稱主管機關認可之機關(構)、學校或團體，指依輻射防護服務相關業務管理辦法之規定，報經主管機關認可從事輻射防護偵測業務之機關(構)、學校或團體。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 24 條 直轄市、縣(市)主管建築機關對於施工中之建築物所使用之鋼筋或鋼骨，得指定承造人會同監造人提出無放射性污染證明。 主管機關發現建築物遭受放射性污染時，應立即通知該建築物之居民及所有人。 前項建築物之輻射劑量達一定劑量者，主管機關應造冊函送該管直轄市、縣(市)地政主管機關將相關資料建檔，並開放民眾查詢。 放射性污染建築物事件防範及處理之辦法，由主管機關定之。	授權訂定 「放射性污染建築物事件 防範級處理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 25 條 為保障民眾生命財產安全，建築物有遭受放射性污染之虞者，其移轉應出示輻射偵測證明。 前項有遭受放射性污染之虞之建築物，主管機關應每年及視實際狀況公告之。 第一項之輻射偵測證明，應由主管機關或經主管機關認可之機關(構)或團體開立之。其辦法，由主管機關定之。 前項之機關(構)或團體執行第三項所訂業務，應以善良管理人之注意為之，並負忠實義務。	授權訂定 「放射性污染建築物事件防範級處理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 26 條 從事輻射防護服務相關業務者，應報請主管機關認可後始得為之。 前項輻射防護服務相關業務之項目、應具備之條件、認可之程序、認可證之核發、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之管理辦法，由主管機關定之。 從事第一項業務者執行業務時，應以善良管理人之注意為之，並負忠實義務。	授權訂定 「輻射防護服務相關業務管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 27 條 發生核子事故以外之輻射公害事件，而有危害公眾健康及安全或有危害之虞者，主管機關得會同有關機關採行干預措施；必要時，並得限制人車進出或強制疏散區域內人車。 主管機關對前項輻射公害事件，得訂定干預標準及處理辦法。 主管機關採行第一項干預措施所支出之各項費用，於知有負賠償義務之人時，應向其求償。對於第一項之干預措施，不得規避、妨礙或拒絕。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 28 條 主管機關為達成本法管制目的，得就有關輻射防護事項要求設施經營者、雇主或輻射防護服務業者定期提出報告。 前項報告之項目、內容及提出期限，由主管機關定之。	授權訂定 「放射性污染建築物事件 防範級處理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第三章 放射性物質、可發生游離輻射設備 或輻射作業之管理	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..	細則條文與子法
第 29 條 除本法另有規定者外，放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業，應依主管機關之指定申請許可或登記備查。 經指定應申請許可者，應向主管機關申請審查，經許可或發給許可證後，始得進行輻射作業。 經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。 置有高活度放射性物質或高能量可發生游離輻射設備之高強度輻射設施之運轉，應由合格之運轉人員負責操作。 第二項及第三項申請許可、登記備查之資格、條件、前項設施之種類與運轉人員資格、證書或執照之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之辦法，由主管機關定之。 第二項及第三項之物質、設備或作業涉及醫用者，並應符合中央衛生法規之規定。	授權訂定 「放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法」 「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要——李鏡和

游離輻射防護法..

第 30 條

放射性物質之生產與其設施之建造及可發生游離輻射設備之製造，非經向主管機關申請審查，發給許可證，不得為之。

放射性物質生產設施之運轉，應由合格之運轉人員負責操作；其資格、證書或執照之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之辦法，由主管機關定之。

第一項生產或製造，應於開始之日起十五日內，報請主管機關備查；其生產紀錄或製造紀錄與庫存及銷售紀錄，應定期報送主管機關；主管機關得隨時派員檢查之。

第一項放射性物質之生產或可發生游離輻射設備之製造，屬於醫療用途者，並應符合中央衛生法規之規定。

細則條文與子法

授權訂定

「放射性物質生產設施運轉人員管理辦法」

細則：

第 12 條 依本法第三十條第一項規定申請放射性物質生產設施之建造許可者，應於預定建造日期六個月前填具申請書，並檢附下列文件及資料，向主管機關申請審查：

- 一、公司登記證明文件或其他設立證件。
- 二、放射性物質之物理、化學及輻射性質。
- 三、生產方法、生產計畫及銷售計畫。
- 四、品質保證計畫。
- 五、輻射安全評估報告、輻射防護計畫及安全作業程序。
- 六、放射性廢棄物處理計畫。
- 七、其他主管機關指定之文件或資料。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法..

細則條文與子法..

第 13 條 依本法第三十條第一項規定申請放射性物質之生產許可者，應於生產設施建造完成後先提出試運轉計畫、運轉人員及輻射防護人員證書影本，向主管機關申請核准進行試運轉。

依前項規定進行試運轉完成後，應於計畫開始生產日期三個月前填具申請書，並檢附試運轉報告，向主管機關申請生產許可審查。

第 14 條 依本法第三十條第一項規定申請可發生游離輻射設備之製造許可者，應於預定製造日期六個月前填具申請書，並檢附下列文件及資料，向主管機關申請審查：

- 一、公司登記證明文件或其他設立證件。
- 二、產品構造、圖說與其發生游離輻射之原理及設備原型。
- 三、製造計畫及銷售計畫。
- 四、檢驗規格與方法及品質保證計畫。
- 五、輻射安全評估報告及輻射防護計畫。
- 六、運轉人員執照及輻射防護人員證書影本。
- 七、測試場所屏蔽設計資料。
- 八、其他主管機關指定之文件或資料。

第 15 條 依本法第三十條第三項規定應定期報送主管機關之各項紀錄，除報經主管機關核准者外，應於每季結束後一個月內，報送主管機關，並至少保存五年。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 31 條 操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應受主管機關指定之訓練，並領有輻射安全證書或執照。但領有輻射相關執業執照經主管機關認可者或基於教學需要在合格人員指導下從事操作訓練者，不在此限。 前項證書或執照，於操作一定活度以下之放射性物質或一定能量以下之可發生游離輻射設備者，得以訓練代之；其一定活度或一定能量之限值，由主管機關定之。 第一項人員之資格、訓練、證書或執照之核發、有效期限、換發、補發、廢止與前項訓練取代證書或執照之條件及其他應遵行事項之管理辦法，由主管機關會商有關機關定之。	授權訂定 「放射性物質與可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源：游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

第 32 條

依第二十九條第二項規定核發之許可證，其有效期間最長為五年。期滿需繼續輻射作業者，應於屆滿前，依主管機關規定期限申請換發。

依第三十條第一項規定核發之許可證，其有效期間最長為十年。期滿需繼續生產或製造者，應於屆滿前，依主管機關規定期限申請換發。

前二項許可證有效期間內，設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，每年至少偵測一次，提報主管機關偵測證明備查，偵測項目由主管機關定之。

細則：

第 16 條 依本法第三十二條第一項或第二項規定向主管機關申請換發許可證之期限如下：

- 一、第一項規定之申請期限為許可證有效期限屆滿前六十日至三十日。
- 二、第二項規定之申請期限為許可證有效期限屆滿前九個月至六個月。

第 17 條 依本法第三十二條第二項規定向主管機關申請換發許可證者，應填具申請書，並檢附下列文件及資料：

- 一、公司登記證明文件或其他設立證件。
- 二、輻射安全評估報告。

第 18 條 設施經營者依本法第三十二條第三項規定所為之偵測，除其他法規另有規定外，應於每年十二月三十一日前，將該年偵測證明提報主管機關備查。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 33 條 許可、許可證或登記備查之記載事項有變更者，設施經營者應自事實發生之日起三十日內，向主管機關申請變更登記。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

第 34 條

放射性物質、可發生游離輻射設備之使用或其生產製造設施之運轉，其所需具備之安全條件與原核准內容不符者，設施經營者應向主管機關申請核准停止使用或運轉，並依核准之方式封存或保管。

前項停止使用之放射性物質、可發生游離輻射設備或停止運轉之生產製造設施，其再使用或再運轉，應先報請主管機關核准，始得為之。

細則條文與子法

細則

第 19 條 本法第三十四條第一項所稱**安全條件與原核准內容不符者**，指有下列各款情形之一：

- 一、輻射作業場所依本法規定需由**合格人員負責操作**，其操作人員離職，**而未於三十日內補足者**。
- 二、輻射作業場所依本法第七條第一項規定設置之**輻射防護人員離職**，**而未於三個月內補足者**。
- 三、放射性物質之機具、可發生游離輻射設備或其生產製造設施**損壞**，**而未於六個月內修復者**。
- 四、放射性物質活度衰減至無法達成原申請目的之用途，**而未於六個月內更換者**。
- 五、因外力不可抗拒因素致輻射作業場所屏蔽或防止輻射洩漏設施損壞，而**未於六個月內修復者**。
- 六、其他經主管機關認定之情形。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
	第 20 條 依本法第三十四條第二項規定申請停止使用之放射性物質、可發生游離輻射設備或停止運轉之生產製造設施之再使用或再運轉，應檢附下列文件及資料，報請主管機關核准： 一、前條第一款情形為合格人員證書及在職證明。 二、前條第二款情形為輻射防護人員認可證明及在職證明。 三、前條第三款情形為設備測試報告。 四、前條第四款情形為放射性物質之證明文件及測試報告。 五、前條第五款情形為場所輻射安全測試報告。 六、前條第六款情形為主管機關指定之文件或資料。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法

第 35 條

放射性物質、可發生游離輻射設備之永久停止使用或其生產製造設施之永久停止運轉，設施經營者應將其放射性物質或可發生游離輻射設備列冊陳報主管機關，並退回原製造或銷售者、轉讓、以放射性廢棄物處理或依主管機關規定之方式處理，其處理期間不得超過三個月。但經主管機關核准者，得延長之。

前項之生產製造設施或第二十九條第四項之高強度輻射設施永久停止運轉後六個月內，設施經營者應擬訂設施廢棄之清理計畫，報請主管機關核准後實施，應於永久停止運轉後三年內完成。

前項清理計畫實施期間，主管機關得隨時派員檢查；實施完畢後，設施經營者應報請主管機關檢查。

細則條文與子法

細則

第 21 條 放射性物質、可發生游離輻射設備之永久停止使用或其生產製造設施之永久停止運轉，設施經營者依本法第三十五條第一項規定退回原製造或銷售者、轉讓或以放射性廢棄物處理時，應依放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法之規定辦理。

第 22 條 本法第三十五條第一項所稱主管機關規定之方式如下：

一、可發生游離輻射設備永久停止使用時，應報經主管機關核准，將主管機關指定之部分**自行破壞至不堪使用狀態，並拍照留存備查**或報請主管機關派員檢查。

二、非密封放射性物質使用設施及場所永久停止使用時，應依主管機關核准之計畫完成除污，並報請主管機關檢查。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
	第 23 條 設施經營者依本法第三十五條第二項規定擬訂設施廢棄清理計畫，應參酌 下列事項規劃： 一、組織與責任及人員之教育訓練。 二、設施之運轉歷史描述。 三、設施之輻射狀況評估。 四、輻射劑量評估及防護措施。 五、除污方案。 六、放射性物質廢棄處理方案。 七、輻射意外事件應變方案。 八、品質保證方案。 九、其他主管機關指定之事項。

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 36 條 放射性物質、可發生游離輻射設備或其生產製造設施有下列情形之一者，視為永久停止使用或運轉，應依前條之規定辦理： 一、未依第三十四條第一項規定，報請主管機關核准停止使用或運轉，持續達一年以上。 二、核准停止使用或運轉期間，經主管機關認定有污染環境、危害人體健康且無法改善或已不堪使用。 三、經主管機關廢止其許可證。	
第 37 條 本章有關放射性物質之規定，於核子原料、核子燃料或放射性廢棄物不適用之。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法

細則條文與子法

第 38 條

有下列情形之一者，處三年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣三百萬元以下罰金：

- 一、違反第七條第二項規定，擅自或未依核准之輻射防護計畫進行輻射作業，致嚴重污染環境。
- 二、違反第九條第一項規定，擅自排放含放射性物質之廢氣或廢水，致嚴重污染環境。
- 三、未依第二十九條第二項、第三項規定取得許可、許可證或經同意登記，擅自進行輻射作業，致嚴重污染環境。
- 四、未依第三十條第一項規定取得許可證，擅自進行生產或製造，致嚴重污染環境。
- 五、棄置放射性物質。
- 六、依本法規定有申報義務，明知為不實事項而申報或於業務上作成之文書為不實記載。

前項第一款至第四款所定嚴重污染環境之標準，由主管機關會同有關機關定之。

授權訂定

「嚴重汙染嚴重標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

資料來源:游離輻射防護法規精要--李鏡和

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 五 章 附 則	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 51 條 本法規定由主管機關辦理之各項認可、訓練、檢查、偵測或監測，主管機關得委託有關機關(構)、學校或團體辦理。 前項認可、訓練、檢查、偵測或監測之項目及其實施辦法，由主管機關會商有關機關定之。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 52 條 主管機關依本法規定實施管制、核發證書、執照及受理各項申請，得分別收取審查費、檢查費、證書費及執照費；其費額，由主管機關定之。	授權訂定 「游離輻射防護管制收費標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 53 條 輻射源所產生之輻射無安全顧慮者，免依本法規定管制。 前項豁免管制標準，由主管機關定之。	授權訂定 「輻射源免管制標準」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 54 條 軍事機關之放射性物質、可發生游離輻射設備及其輻射作業之輻射防護及管制，應依本法由主管機關會同國防部另以辦法定之。	授權訂定 「軍事機關輻射防護及管制辦法」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 55 條 本法施行前已設置之放射性物質、可發生游離輻射設備之生產、製造與其設施、輻射工作場所、已許可之輻射作業及已核發之人員執照、證明書，不符合本法規定者，應自本法施行之日起二年內完成改善、辦理補正或換發。但經主管機關同意者得延長之，延長以一年為限。	

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 56 條 本法施行細則，由主管機關定之。	授權訂定 「游離輻射防護法施行細則」

叁、輻防法施行細則與輻防法之關係及子法

游離輻射防護法	細則條文與子法
第 57 條 本法施行日期，由行政院定之。	細則 第 24 條 本細則所定書表文件格式 由主管機關另定之。 第 25 條 本細則自本法施行之日行。 本細則修正條文自發布行。

肆、案例介紹

https://www.aec.gov.tw/%E8%BC%BB%E5%B0%84%E9%98%B2%E8%AD%B7/%E8%BC%B%E5%AE%89%E7%AE%A1%E5%88%B6/%E9%81%95%E6%B3%95%E8%99%95%E7%90%86%E6%A1%88%E4%BB%B6--4_28_117.html

肆、案例介紹

111/04/14	受處分人未經本會同意登記，擅自使用移動型X光機(術中治療用)進行輻射作業。	游離輻射防護法第29條第1項規定：「除本法另有規定者外，放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業，應依主管機關之指定申請許可或登記備查。」同法第3項規定：「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新臺幣10萬元以上50萬元以下罰鍰，並令其限期改善。 2.依行政罰法第18條規定，審酌受處分人違反行政法上義務行為應受責難程度、所生影響及因違反行政法上義務所得之利益，並考量其資力，裁處新臺幣20萬元罰鍰。
-----------	---------------------------------------	---	--

肆、案例介紹

110/05/18	受處分人僱用未具合格訓練資格之人員操作登記類放射性物質。	游離輻射防護法第31條第1項規定： 「操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應受主管機關指定之訓練，並領有輻射安全證書或執照。」 同法第2項規定：「前項證書或執照，於操作一定活度以下之放射性物質或一定能量以下之可發生游離輻射設備者，得以訓練代之；…」	1.游離輻射防護法第45條第4款規定，處新臺幣4萬元以上20萬元以下罰鍰，並令其限期改善。 2.審酌受處分人係因誤解操作人員資格規定，且已積極安排完成訓練，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣4萬元。
109/10/08	受處分人使用停用之乳房X光攝影儀巡迴車進行乳房X光攝影等輻射作業。	游離輻射防護法第29條第3項規定 「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業」	1.違反游離輻射防護法第43條第4款規定「未依第29條第3項規定經同意登記，擅自進行輻射作業。」，應處新臺幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.審酌受處分人係屬初次違規，且該儀器已向本會完成可發生游離輻射設備登記，爰違規情節尚屬輕微，依法裁處最低罰鍰額度，處新臺幣10萬元罰鍰。

肆、案例介紹

107/09/28	受處分人106年度未依游離輻射防護法第14條第5項規定接受輻射工作人員3小時繼續教育課程。	游離輻射防護法第14條第5項規定：「輻射工作人員對於前項教育訓練，有接受之義務。」	1.游離輻射防護法第46條第1款規定，處新台幣2萬元以下罰鍰。 2.受處分人依法裁處新臺幣2萬元罰鍰。
107/02/22	受處分人未依規定對在職輻射工作人員實施定期健康檢查。	違反游離輻射防護法第16條第1項規定「雇主僱用輻射工作人員時，應要求其實施體格檢查；對在職之輻射工作人員應實施定期健康檢查，並依檢查結果為適當之處理。」	1.游離輻射防護法第45條第1項第2款規定，處新台幣4萬元以上20萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合調查，並提出改善措施，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣4萬元。
107/02/06	受處分人放射性物質生產設施未取得本會核發之放射性物質生產許可證，即擅自進行生產及輻射作業。	游離輻射防護法第29條第2項規定：「經指定應申請許可者，應向主管機關申請審查，經許可或發給許可證後，始得進行輻射作業。」 同法第30條第1項規定：「放射性物質之生產與其設施之建造及可發生游離輻射設備之製造，非經向主管機關申請審查，發給許可證，不得為之。」	1.游離輻射防護法第41條第5款及第6款規定，處新台幣60萬元以上300萬元以下罰鍰。 2.審酌受處分人於案後即停止違規行為，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣60萬元。

肆、案例介紹

107/01/09	受處分人未經本會同意登記，即進口及轉讓可發生游離輻射設備。	違反游離輻射防護法第29條第3項規定「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新台幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合，且未造成安全上危害，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣10萬元。
106/11/21	受處分人未經本會同意登記，即轉讓及銷售可發生游離輻射設備。	違反游離輻射防護法第29條第3項規定「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新台幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合，且未造成安全上危害，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣10萬元。
106/11/21	受處分人未經本會同意登記，即擅自停止使用放射性物質。	違反游離輻射防護法第29條第3項規定「經指定應申請登記備查者，應報請主管機關同意登記後，始得進行輻射作業。」	1.游離輻射防護法第43條第4款規定，處新台幣10萬元以上50萬元以下罰鍰。 2.考量受處分人積極配合，且未造成安全上危害，依法裁處最低罰鍰額度新臺幣10萬元。

總結--操作人員資格

- + 操作主管機關核發許可證之放射性物質或可發生游離輻射設備，需領有主管機關核發之輻射安全證書；登記備查者至少須接受主管機關認可之輻射訓練18小時以上或大專校院以上學校取得有關輻射防護相關科目達二學分以上者。
- + 雇主對在職之輻射工作人員應定期實施教育訓練，且每人每年受訓時數須為三小時以上。
- + 參與有關放射性操作之人員年齡不得低於十八歲，但基於教學或工作訓練需要，而介於十六歲以上未滿十八歲之工作人員或學生，在符合特殊限制狀況下從事輻射相關工作。
- + 未滿十六歲者，不得從事或參與輻射作業。
- + 雇主對告知懷孕之女性輻射工作人員，應即檢討其工作條件，以確保妊娠期間胚胎或胎兒所受之曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定；其有超過之虞者，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整。

總結--輻射安全要求

- + 游離輻射設備的防護需確保足以使其在管制區之劑量率 $< 10 \mu\text{Sv/h}$ 及監測區之劑量率 $< 0.5 \mu\text{Sv/h}$ 。
- + 使用許可類輻射源，每5年期限屆滿六十日至三十日內須進行輻射安全測試(測試報告須保留5年)，填具申請書，並檢附相關文件，向主管機關申請換發使用許可證。
- + 登記類輻射源經同意登記後，每5年屆期前後三個月內需進行輻射安全測試(報告須保留5年，留存備查)。
- + 備有適當輻射偵檢設備供測定各區域輻射強度，且該等設備均定期校正且保有紀錄。
- + 應實施適當之人員劑量監測措施。
- + 操作游離輻射源設備者應參加輻防講習，並保有訓練紀錄。

輻射防護實習或見習

安檢設備操作與輻射防護

講員：陳厚語

（輻專師字第0824號）（醫放字第003360號）



安全檢查設備種類

物品檢查型掃描設備

- a. 行李檢查型X光機
 - (1) 單射源型 (2) 雙射源型 (3) 電斷層型
- b. 貨櫃掃描儀原理與輻射防護
- c. 中子掃描儀/中子活化分析掃描儀IGRIS
- d. 手持式X光掃描儀
 - (1) 穿透式X光掃描儀 (2) 背散式X光掃描儀

人體掃描儀

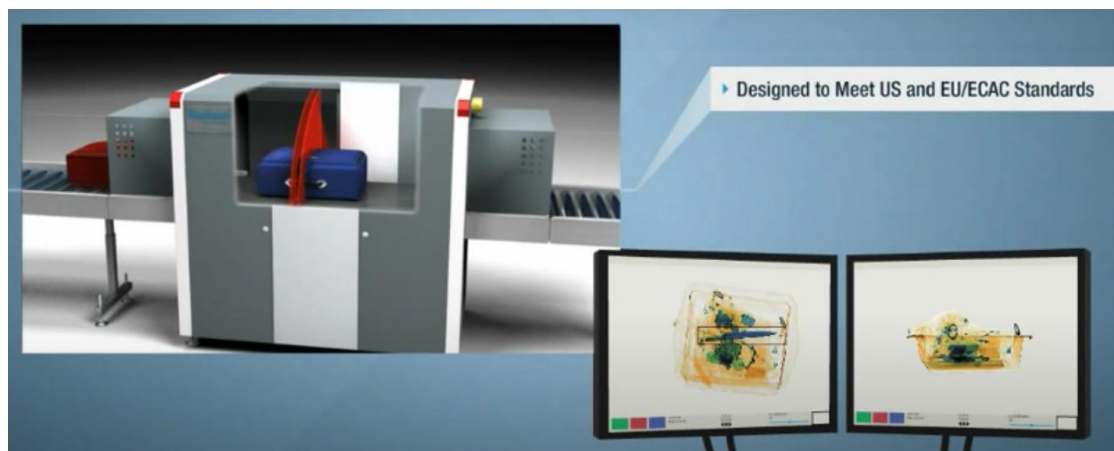
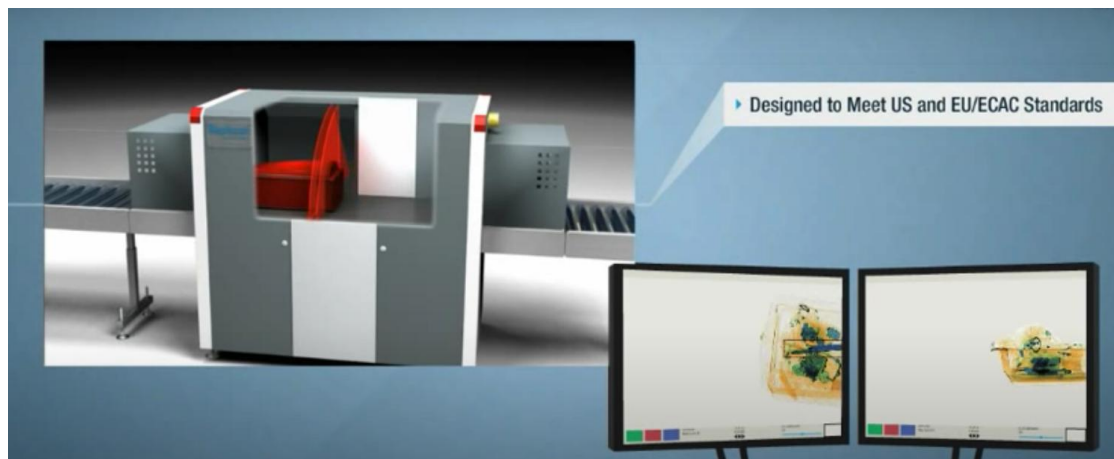
- d. 毫米波人體掃描儀
- e. 紅外線人體掃描儀
- f. X光掃描儀
 - (1) 穿透式X光掃描儀 (2) 背散式X光掃描儀

金屬探測儀

主動式/被動式



單射源型-物品檢查X光機



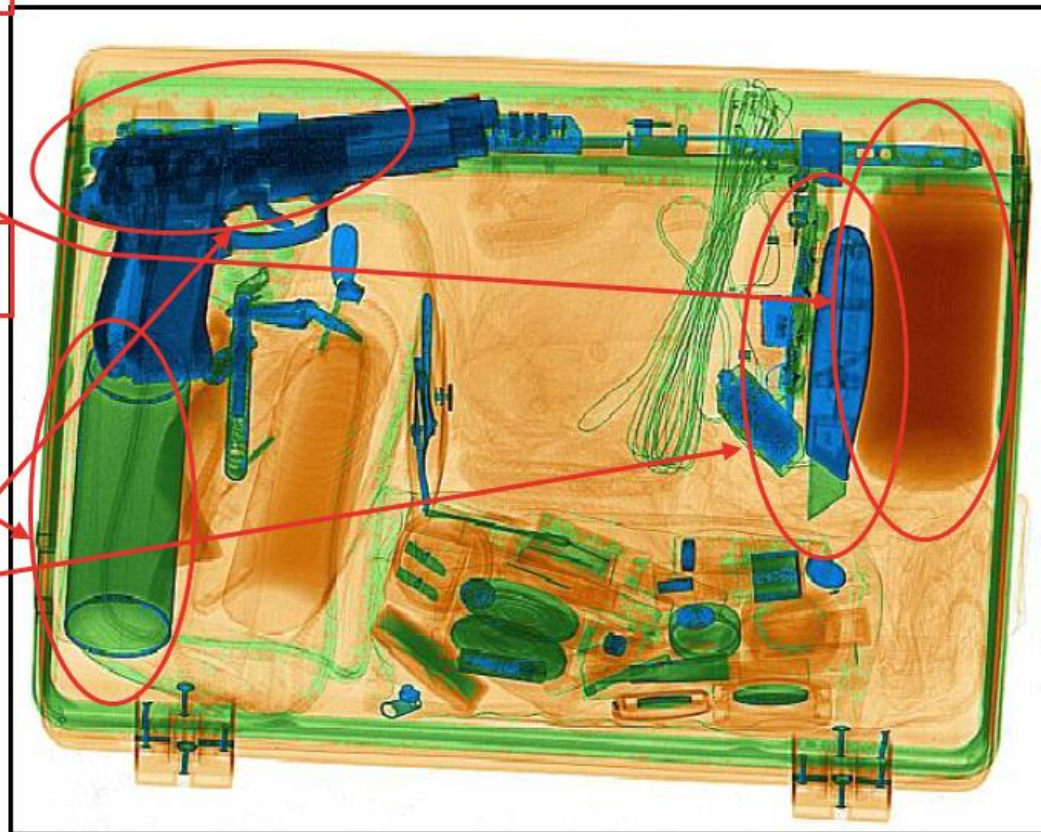
●雙射源型 物品檢查X光機

1. 橘色: 有機物質

2. 綠色: 無機物質

3. 藍色: 金屬物質

4. 黑色: 無法穿透材質



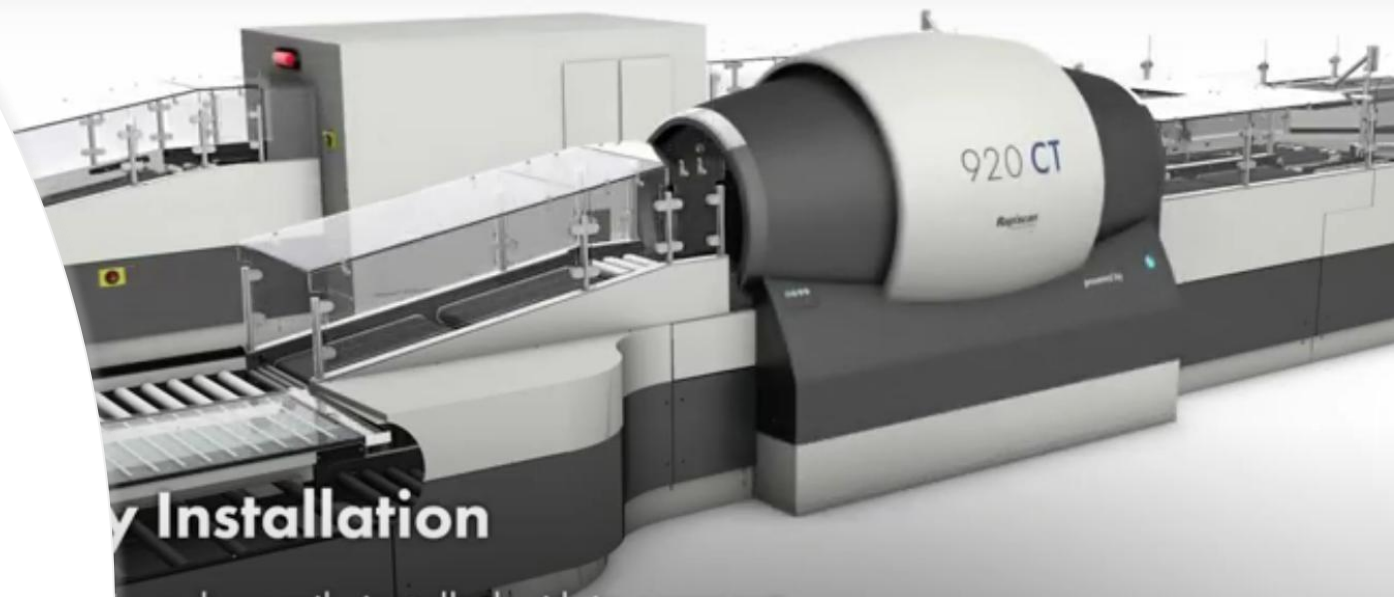
$(Z < 10)$

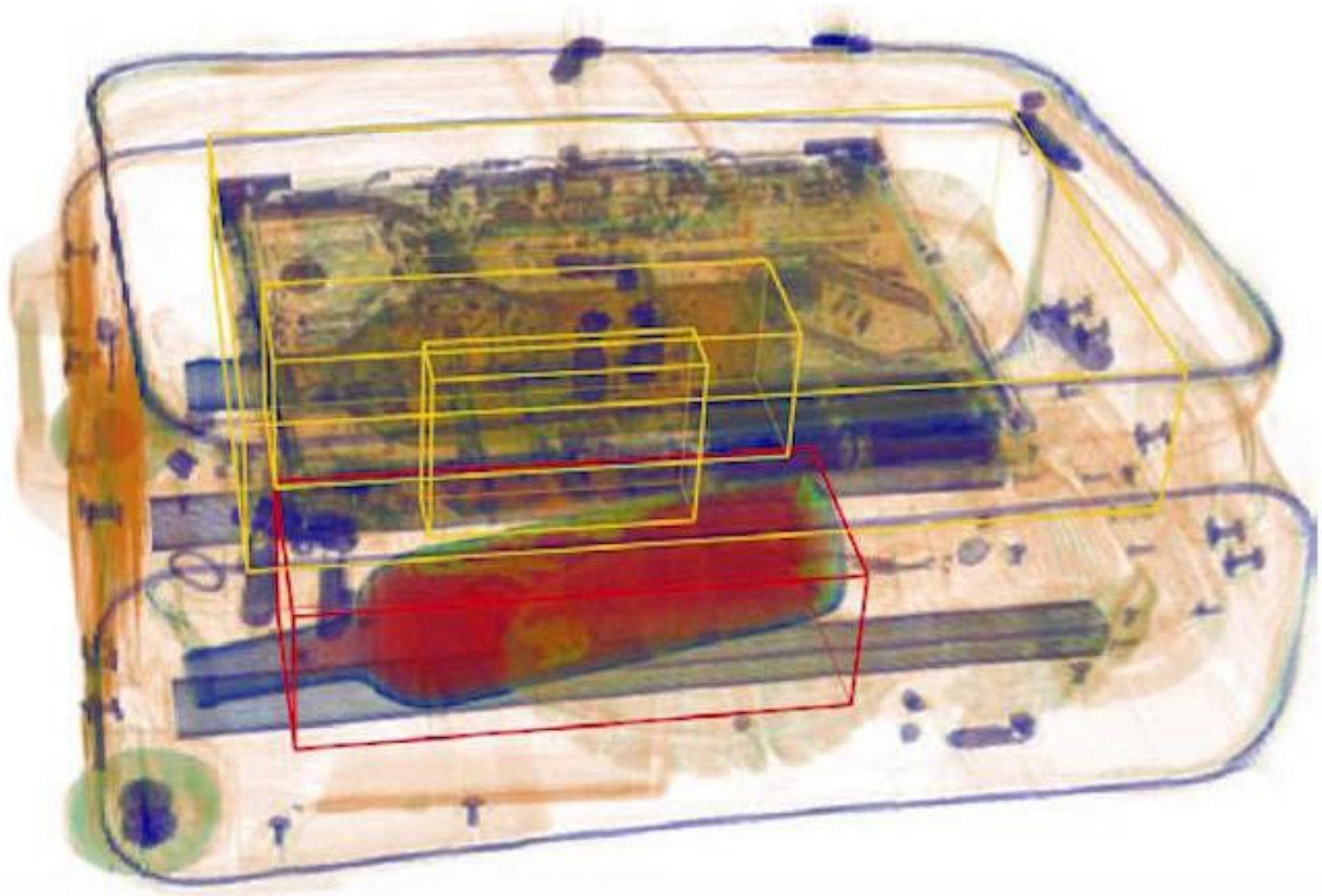
$(10 < Z < 20)$

$(Z > 20)$

$(mm\ Steel > 30)$

電腦斷層型-物品檢查X光機





檢測技術比較

- CT

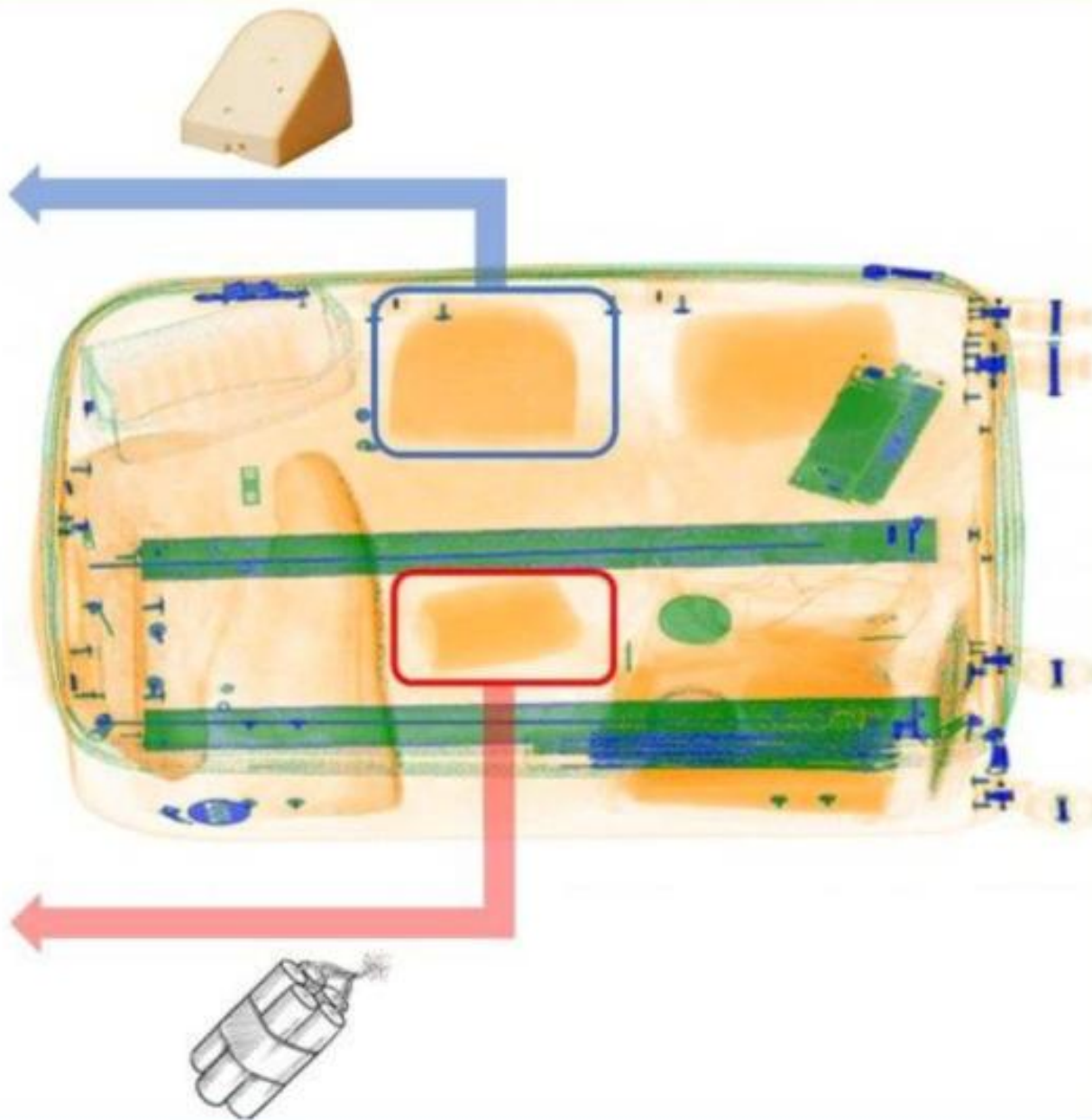
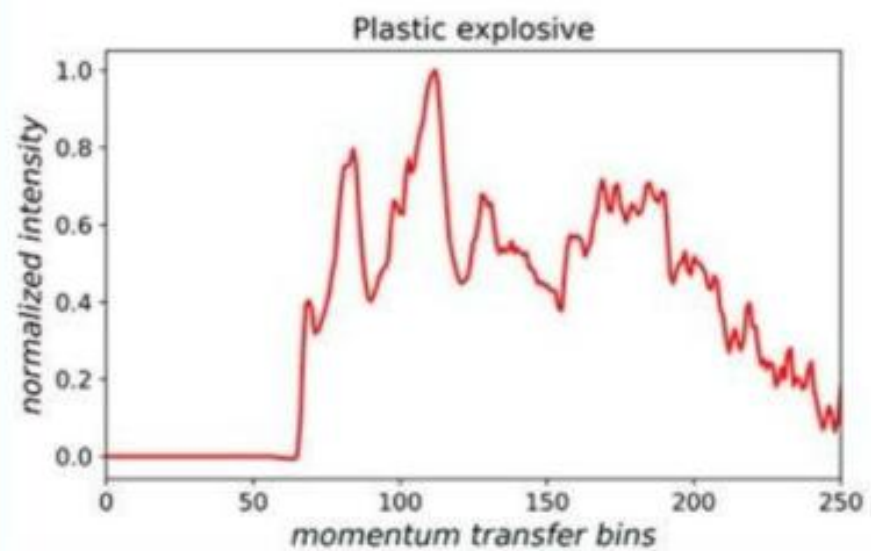
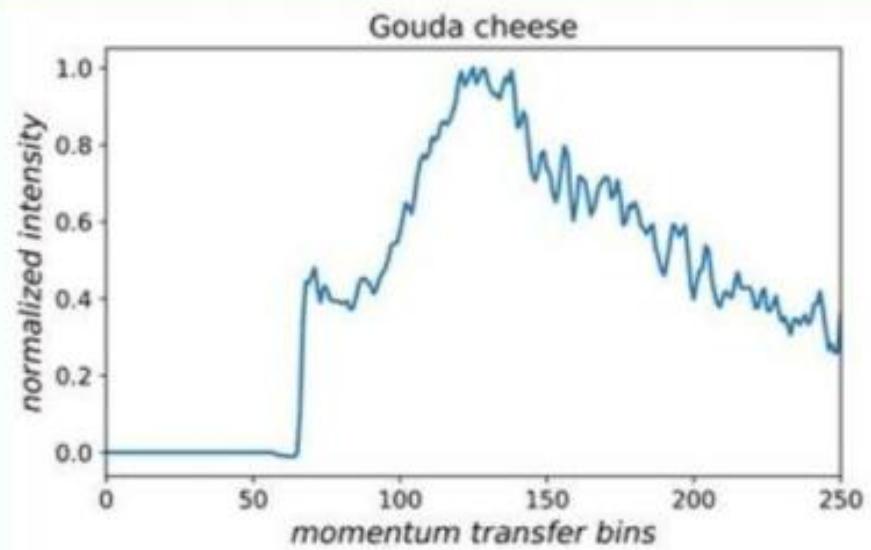
檢測物質密度有效原子序數（**Z_{eff}**值）來區分材料。有效原子序數描述了材料的平均原子序數，即它主要是「有機物」（含有碳、氮或氧等輕元素）還是更偏向「金屬」（含鋁或鐵）。密度和有效原子序數是利用雙能量X射線吸收（或衰減）來測量的。

- AI

物體形狀辨識

- XRD

XRD（X光繞射儀）是一種無損分析技術，利用X光在晶體內部的繞射現象，來解析物質的晶體結構與原子排列方式



線上教學影片資源

RAPISCAN 920CT 簡介

- <https://www.youtube.com/watch?v=PFOEQKqNOFE>

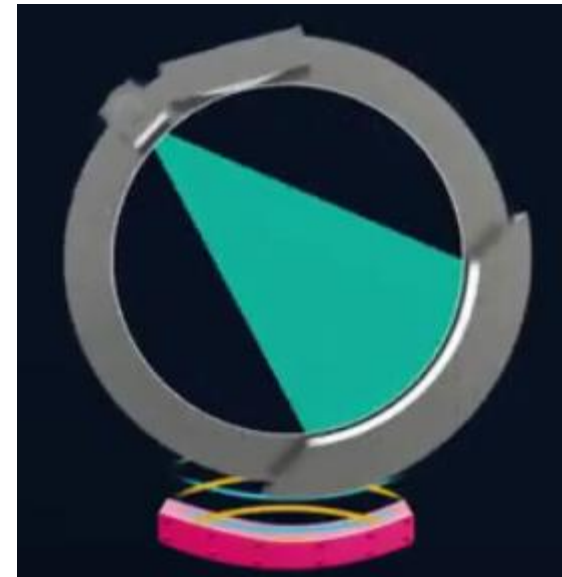
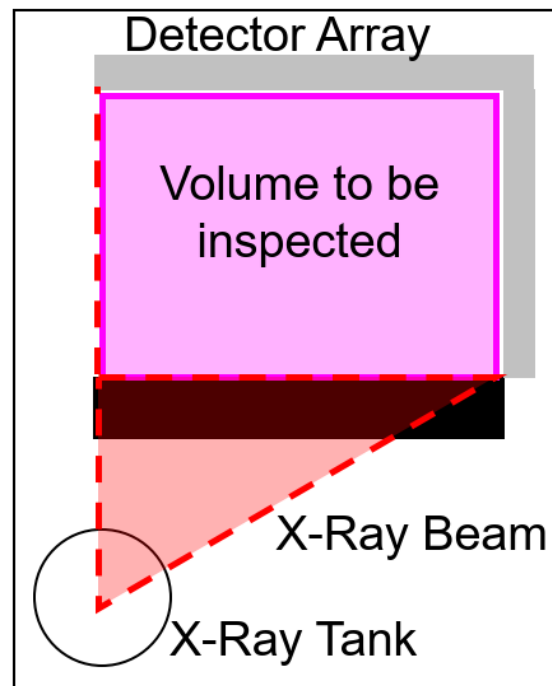
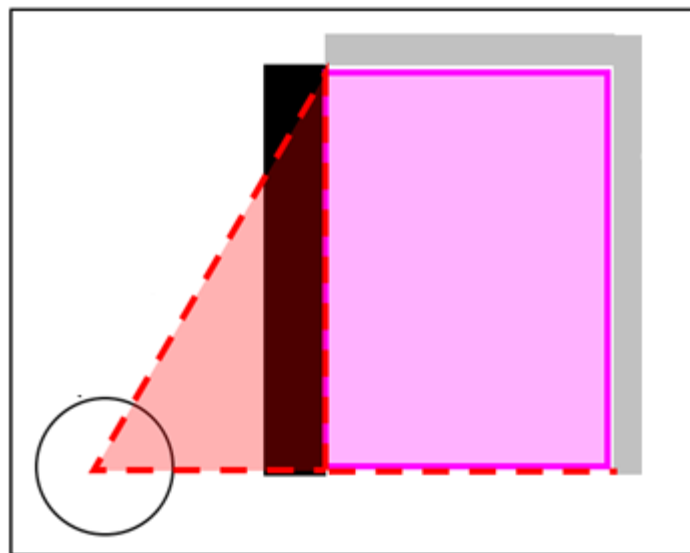
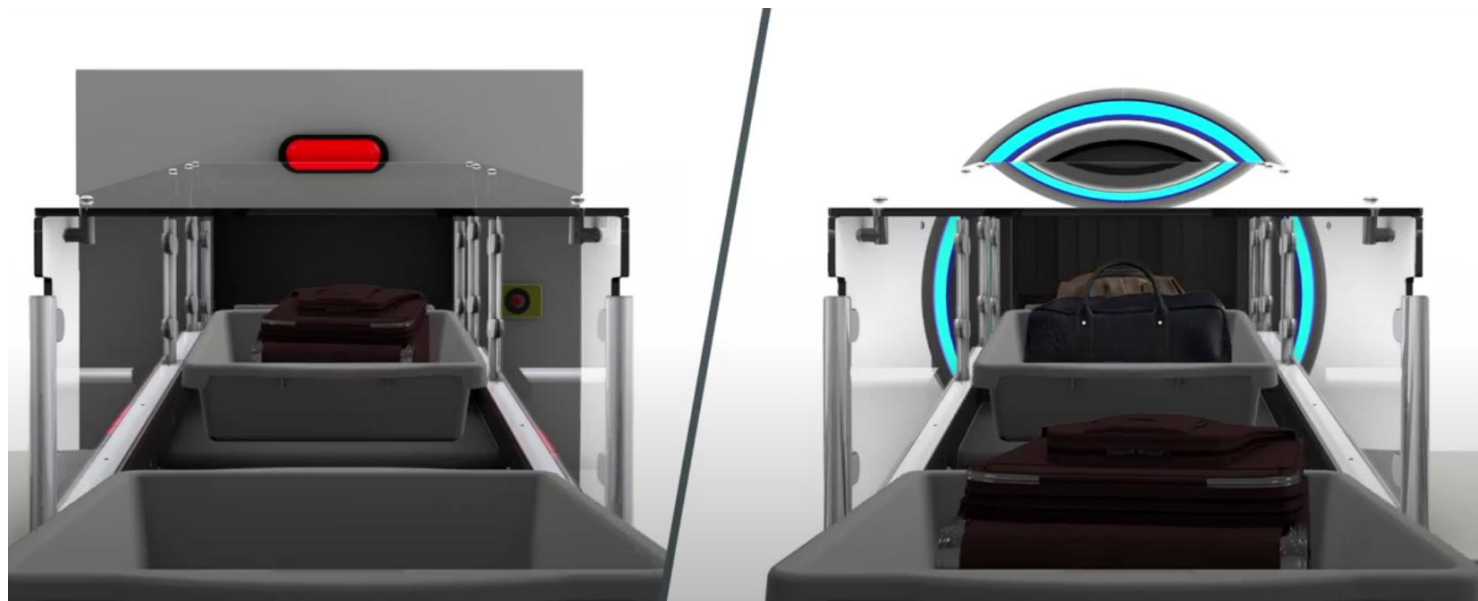
CT操作界面簡介

- <https://www.youtube.com/watch?v=g3SLMfGCP60>

AI 人工智慧識別物品

- <https://www.youtube.com/watch?v=UvrkQbMCNnY&t=>

輻射防護





輻射滲漏討論

- 鉛簾失效或暫時失效

鉛簾破損

鉛簾開啟，而X光機繼續執行檢查照射時

- 屏蔽計算不符合人員經常性居佔

X光機外標準不符合人員非管制區標準

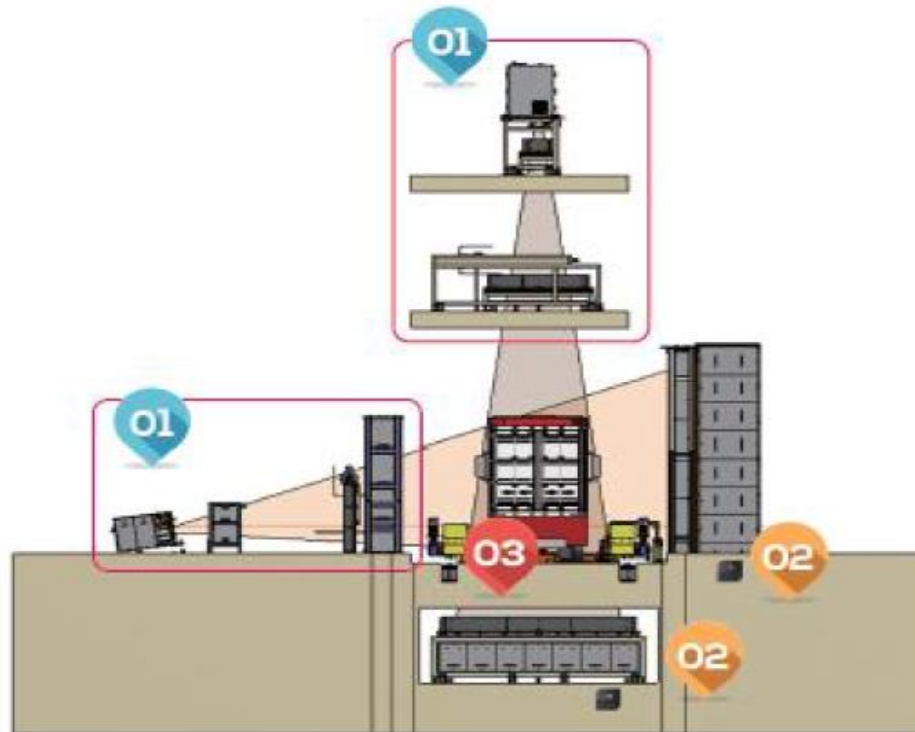
貨櫃掃描儀原理及輻射防護

放射性質偵測門(RPM)

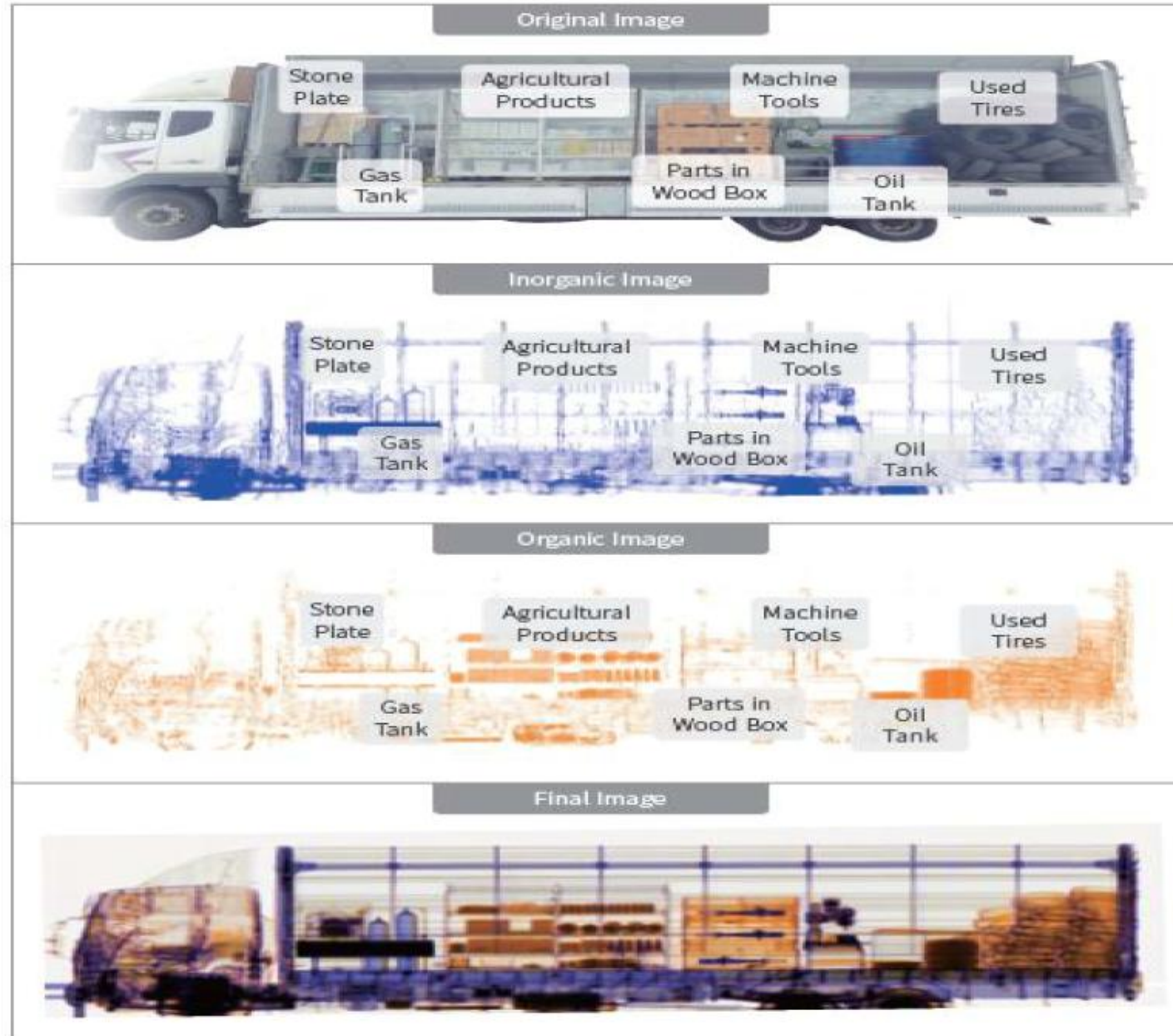


CIS

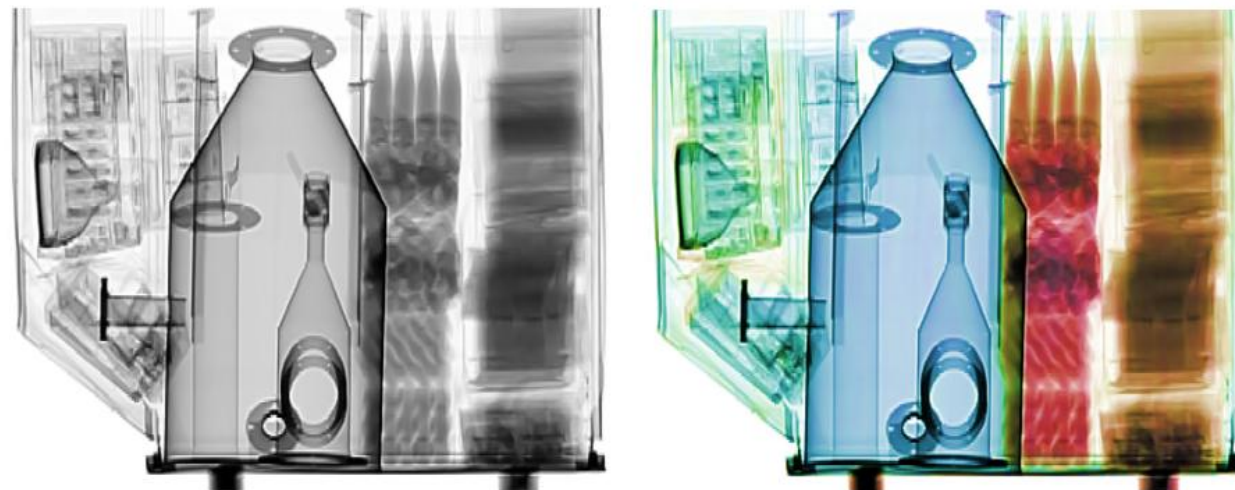
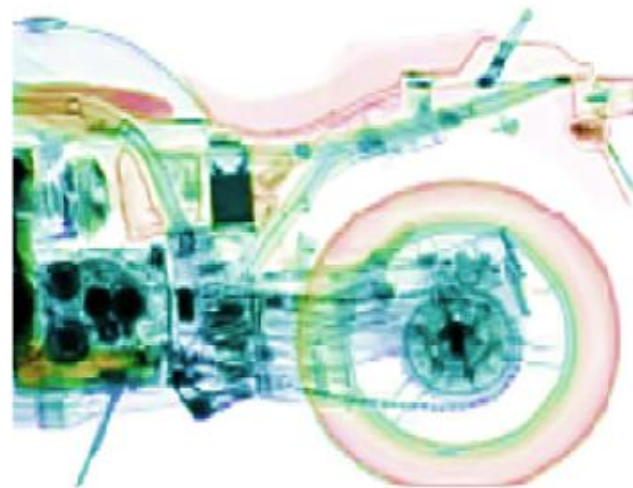
Container Cargo Inspection System



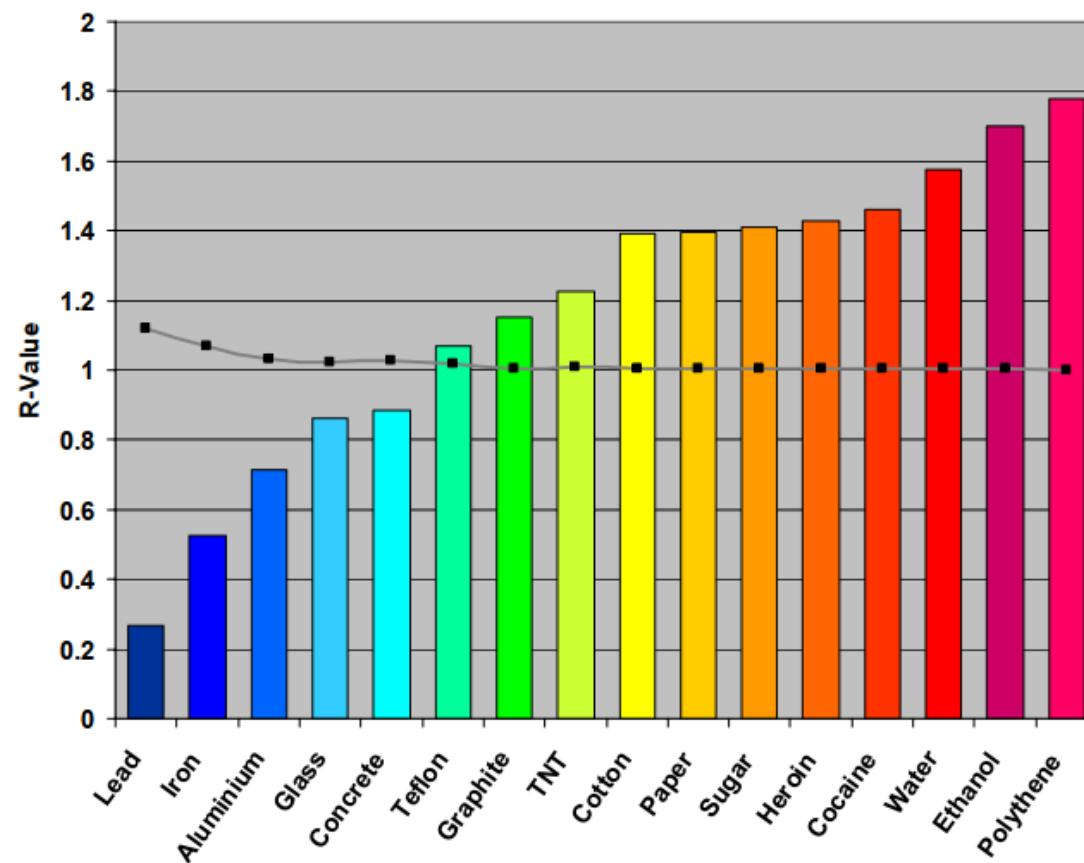
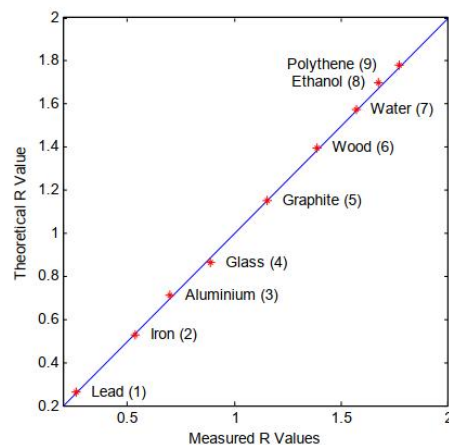
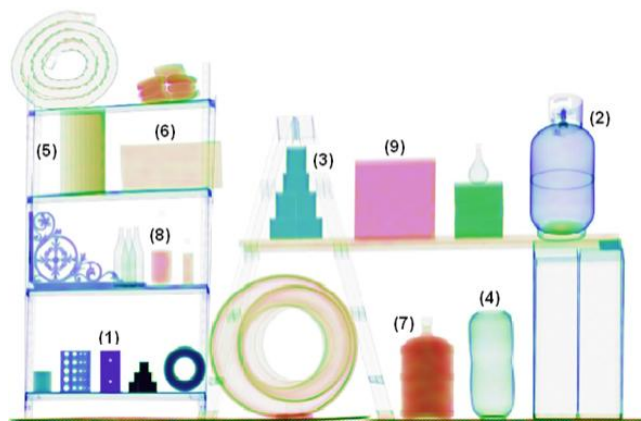
Materials Discrimination







中子合併高能X光掃描儀-物品檢查



中子掃描儀-中子活化分析

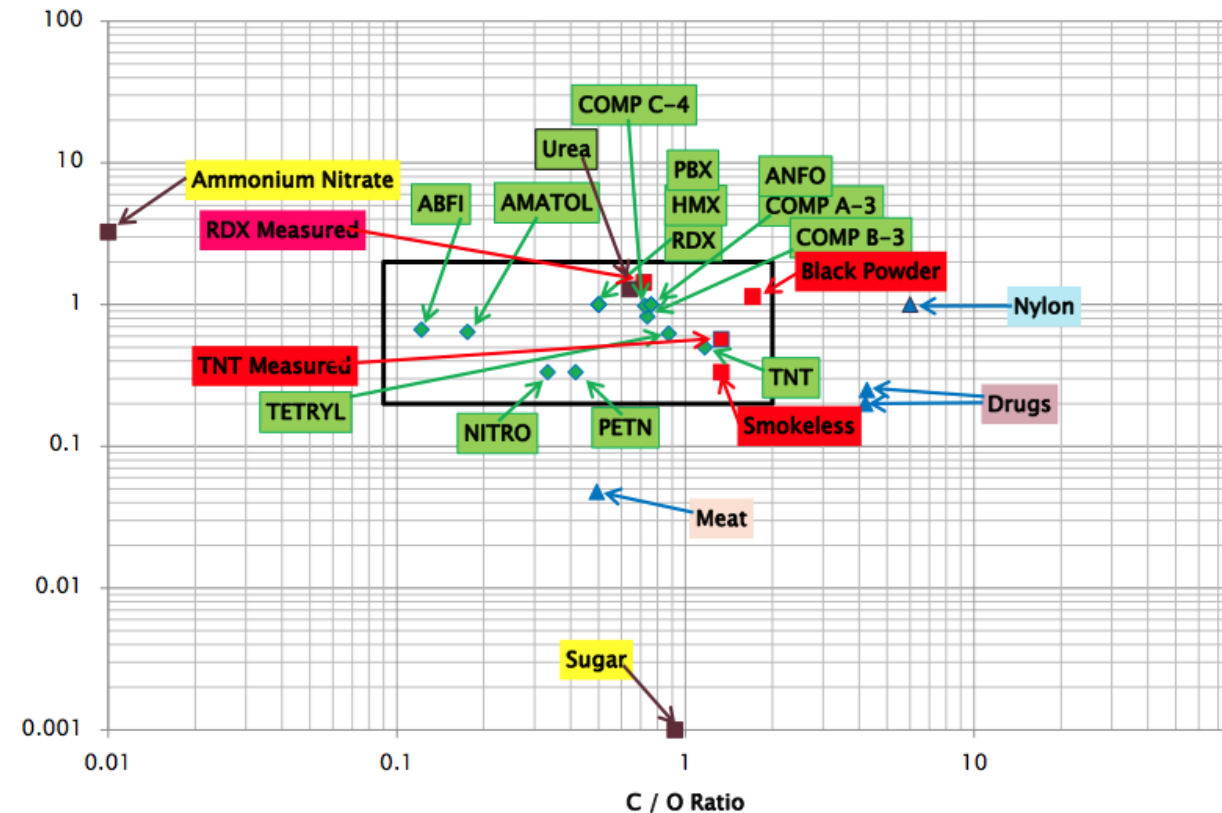
IGRIS

- IGRIS掃描儀背後的技術方法是什麼？
- **Inelastic伽瑪射線成像系統（IGRIS）**將非彈性中子散射技術與相關的粒子飛行時間光譜技術相結合，從而獲得了一種有效而準確的系統，用於檢測和識別爆炸物和違禁藥物。在IGRIS系統中，高能中子是在密封管中子發生器（**STNG**）中產生的，能量為**14.1 MeV**，並從發射源各向同性地發射。每秒大約產生一百萬個中子，這些單元的平均壽命約為**2,000**小時。這些高能中子與容器中元素的原子核反應，以進行分析以產生伽馬射線。可能發生幾種核反應，其中之一是非彈性散射，隨後中子能量損失，並產生能量高達約**7 MeV**的伽馬射線。伽馬射線的能量和數量確定了從中發出它的元素，並從本質上形成了“指紋”，可以始終從中識別出該元素。



IGRIS (INELASTIC GAMMA RAY IMAGING SYSTEM)

Product or System	Elements Detected	Scanning Ability
IGRIS	N, C, O	3-dimensional
Vapor Detectors	None, only vapor pressure of dynamite	None
Conventional X-Ray Systems	None, only High Z versus Low Z materials	None
Dual Energy X-Ray Systems	H	Course 2-dimensional projection of hydrogenous materials
Back Scatter X-Ray Systems	H	Course 2-dimensional projection of hydrogenous materials
Cat Scan	None, only indications of low Z elements	2-dimensional
Thermal Neutron Analysis (TNA)	N	Poor 3-dimensional



中子防護

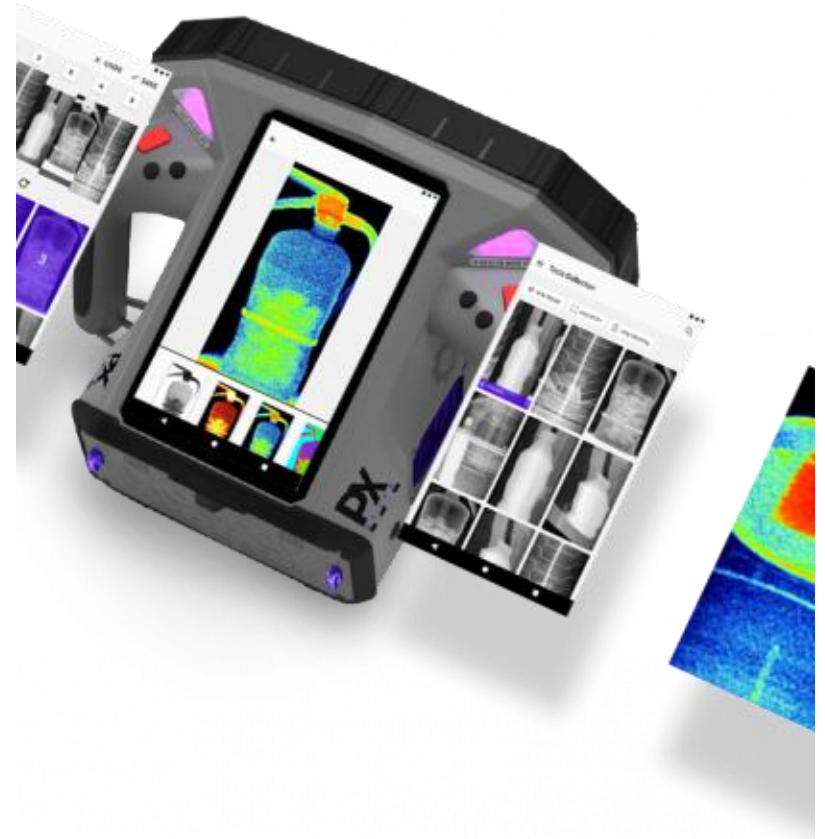
- 中子防護的順序是：
- 中子能量高時，以非彈性散射為主，應該先用重元素快速消耗快中子的能量；對於幾**MeV**以上的中子，可用含重核或中重核的材料，通過非彈性碰撞使其能量迅速降低
- 中子能量中等時，以彈性散射為主，應該用輕元素將中子慢化為熱中子；用含氫材料進一步使其慢化。富含氫核的材料卻可以用來屏蔽中子。**混凝土**或者鑲嵌有**石蠟**層的混凝土比重元素能夠更好的防護中子。屏蔽快中子最有效的元素是氫，常用材料是含氫成分較多的水、石蠟等。
- 中子能量低時，以中子俘獲為主，用鎘、硼**10**等吸收中子。中子防護必然有次生伽瑪射線輻射。利用**B10**或**Li6**等吸收截面大的物質，可使中子能量因原子核反應轉換成帶電粒子的能量，中子則被它們吸收。屏蔽熱中子用中子吸收截面大、俘獲 **γ** 光子能量低的材料，如硼、鋰及其化合物等。某些輕核種，比如**鋰-6**，可以吸收熱中子而不產生次生輻射。

手持式X光機掃描儀-背散射技術

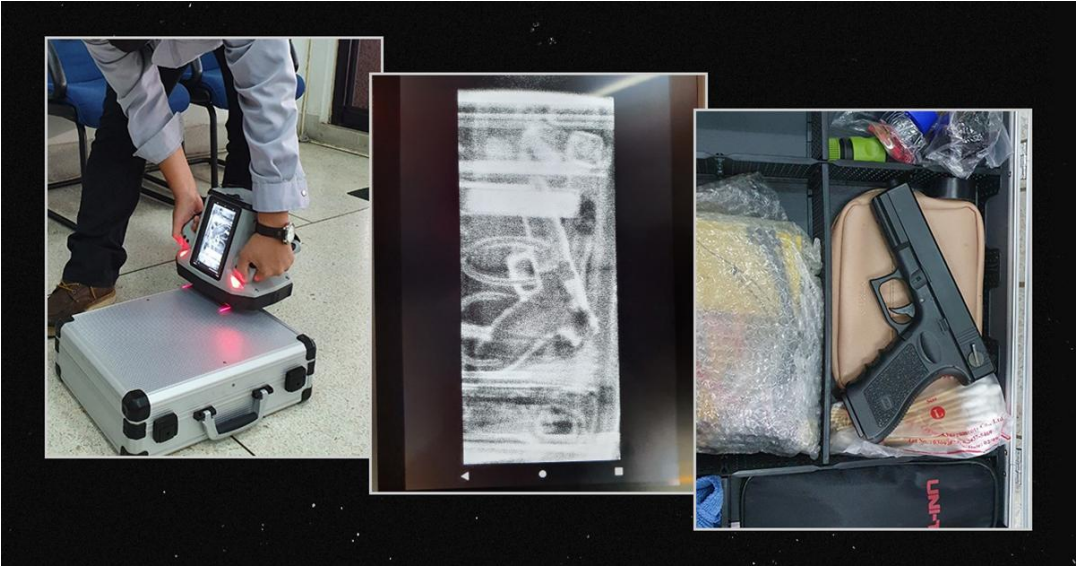
AS&E MINI Z

- BACK-SCATTER 技術原理
- 實測輻射值約
5-10微西弗/小時
- 120kV





VIDERAY PX1 X-ray:140kV



VIKEN HBI-
120,XP
HBI(120keV)
XP(140keV)
Back-scatter技術原理



手持式X光機掃描儀-穿透式

VIDERAY PXT



3DX-RAY



PORTABLE X-RAY + Digital Radiography

Logos STENÓS II



Leonardo DR mini III



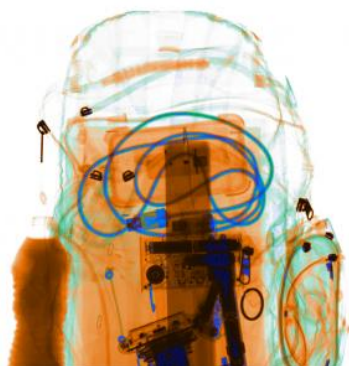
非醫用移動型X光機

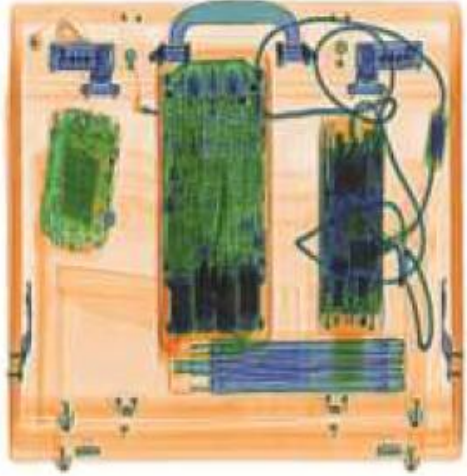
- 安檢用X光機

- 1.X光機主體

- 2.感測板

人員位置在射束後方屏蔽，並遠離一定距離。

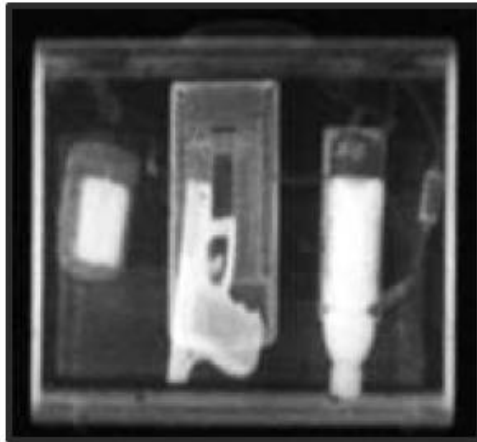
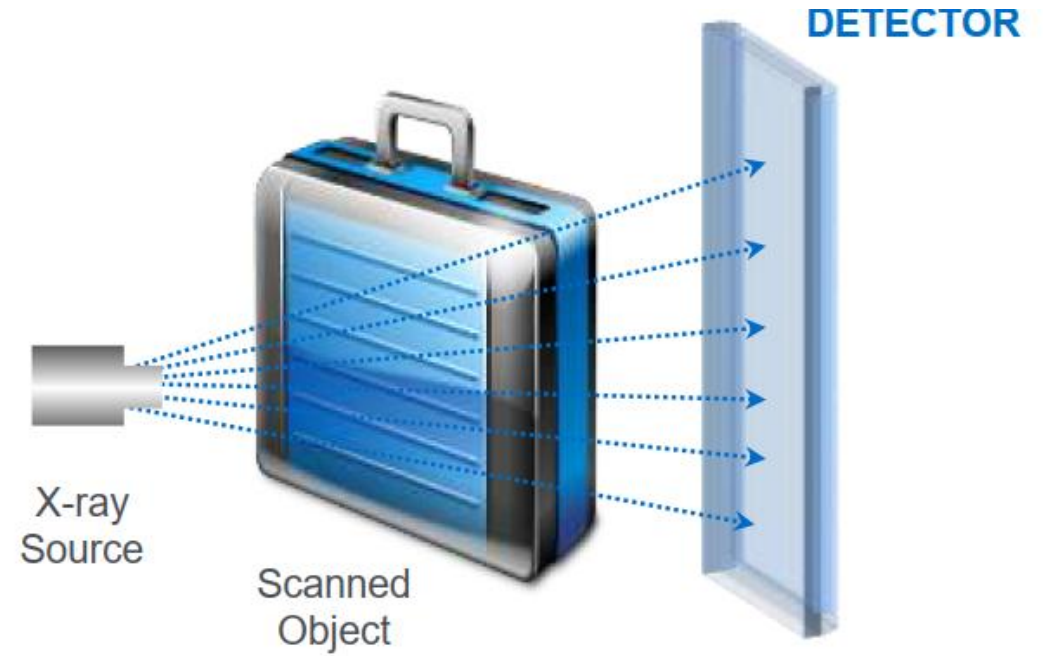




TRANSMISSION X-RAY

TRANSMISSION

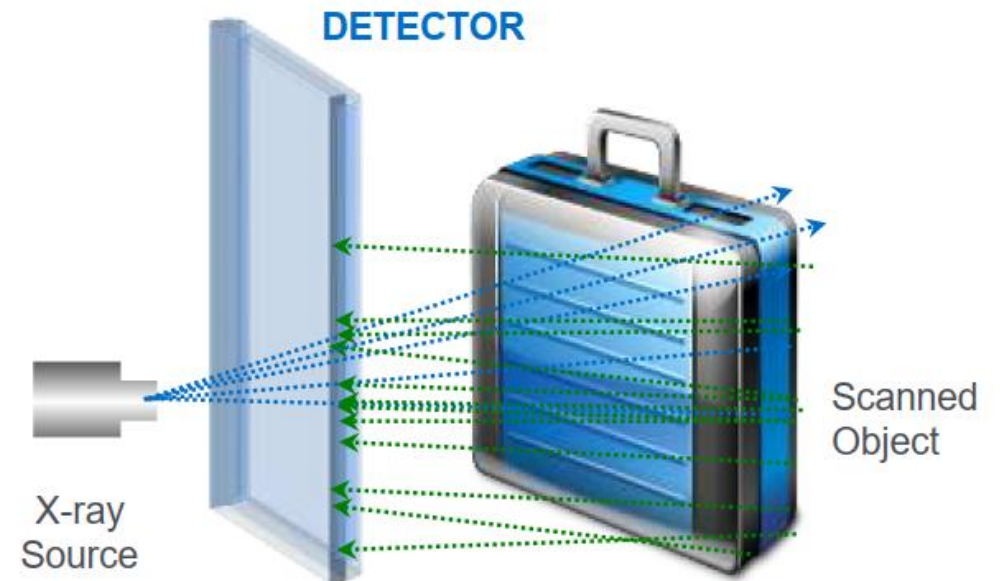
Systems detects by passing a fan beam of X-rays through an object to a detector on the far side.



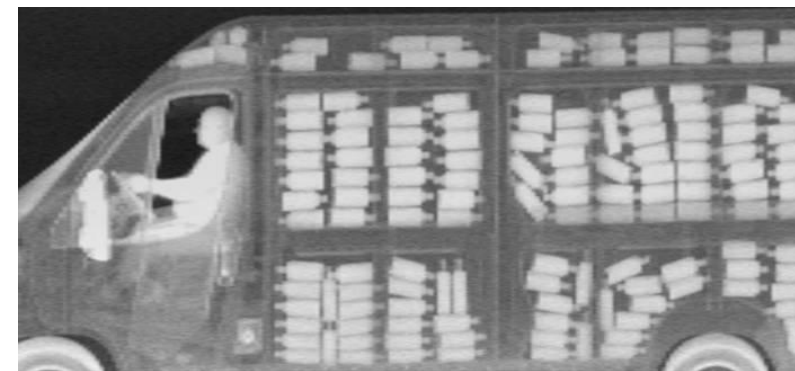
Z BACKSCATTER X-RAY
OF SAME SUITCASE

Z BACKSCATTER

System detects by passing a series of pencil beam X-rays over an object to collect reflected X-rays on a detector on the near side, creating an image that is easier to interpret and understand.



車載型背散檢查X光機



影片介紹 MINI Z

<https://www.youtube.com/watch?v=PxbZJ8-keyo>

3DXRAY

<https://www.youtube.com/watch?v=qvcU8PLEIKE>

ZBV CARGO

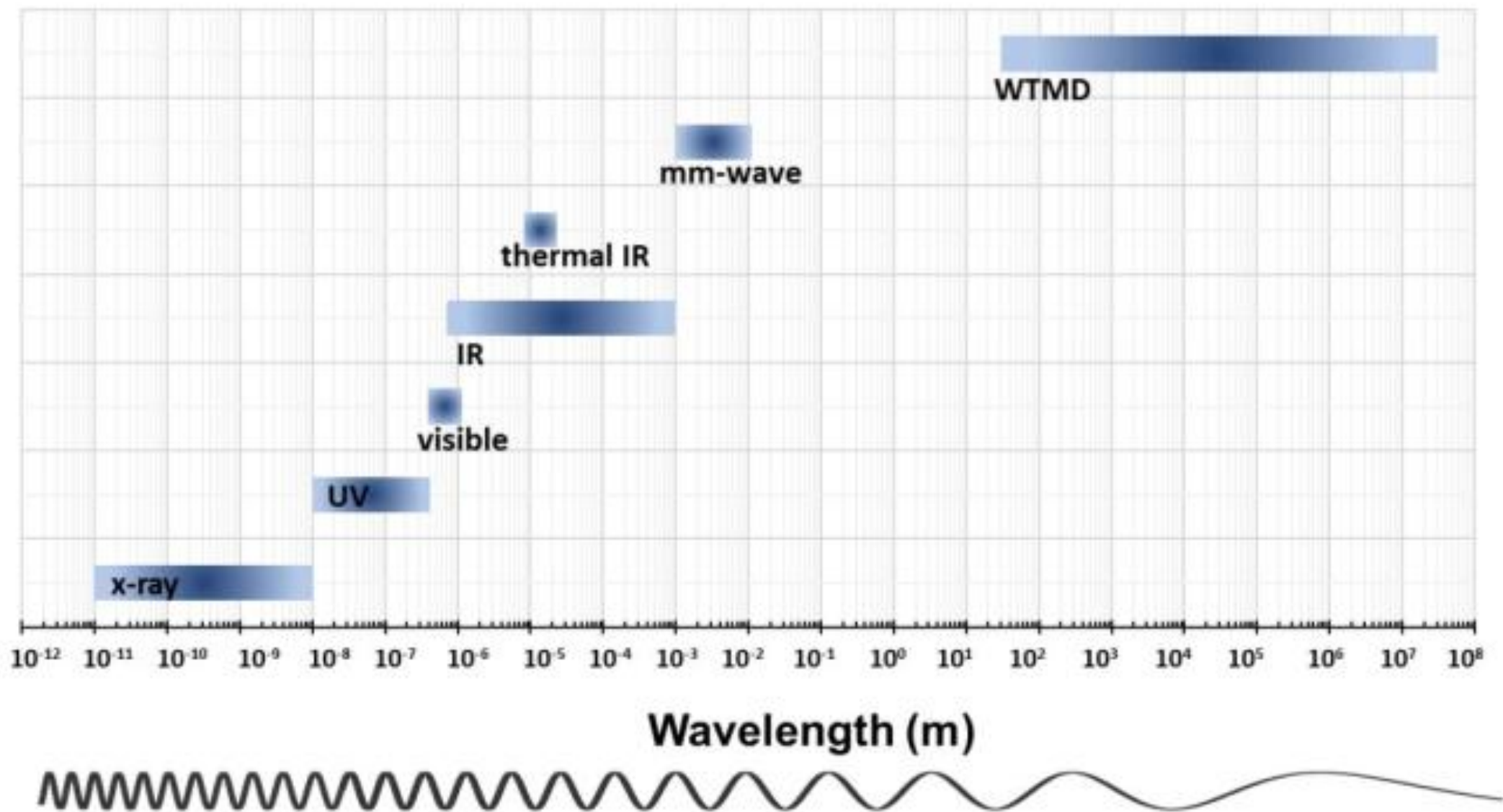
<https://www.youtube.com/watch?v=vju1Z0BXAAI>

REXTAR X 示範片

https://www.youtube.com/watch?v=1_VBdLN-qCM

MOBILE X-RAY MEDICAL

<https://www.youtube.com/watch?v=iQXE34j1KTY>



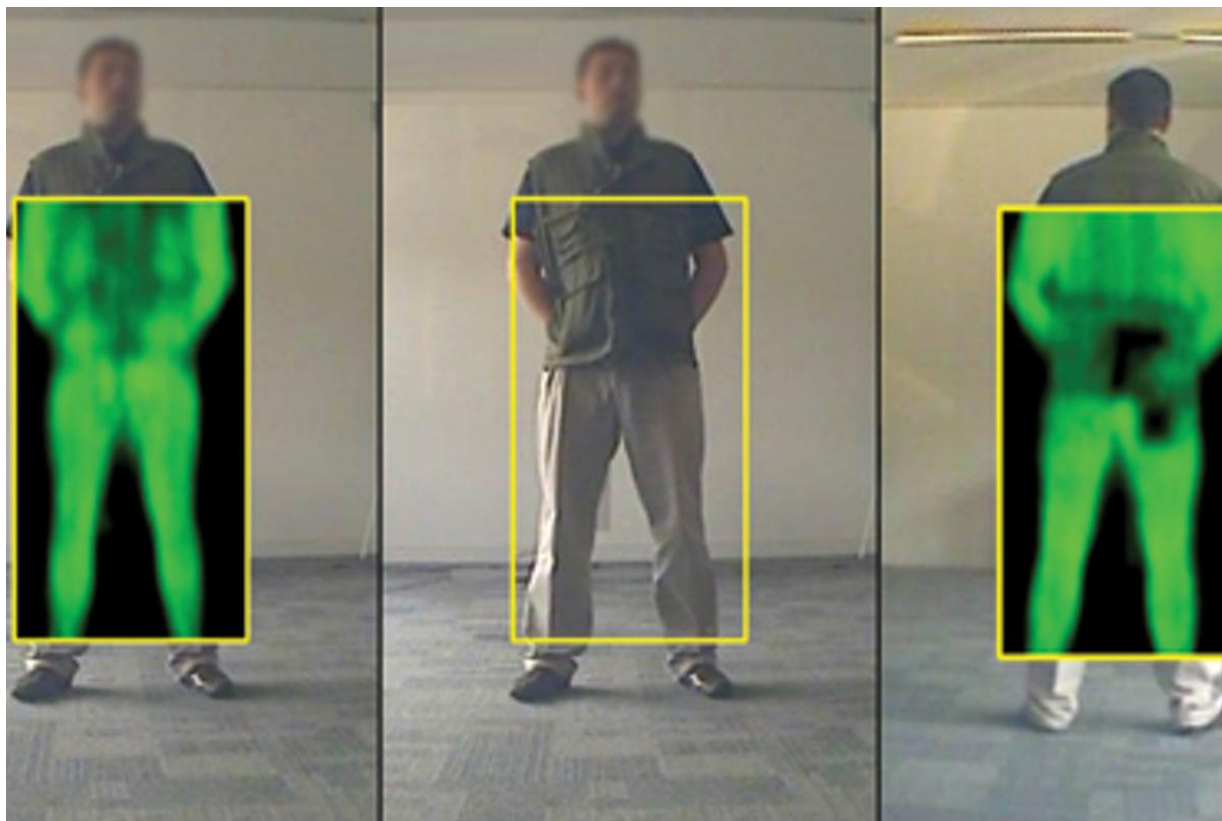
人體掃描儀-毫米波 (成像式)



毫米波原理

- 在主動掃描器中，當兩個天線圍繞身體旋轉時，毫米波同時從兩個天線發射。從身體或身體上的其他物體反射回的波能用於建立三維影像，該影像顯示在遠端監視器上以供分析。

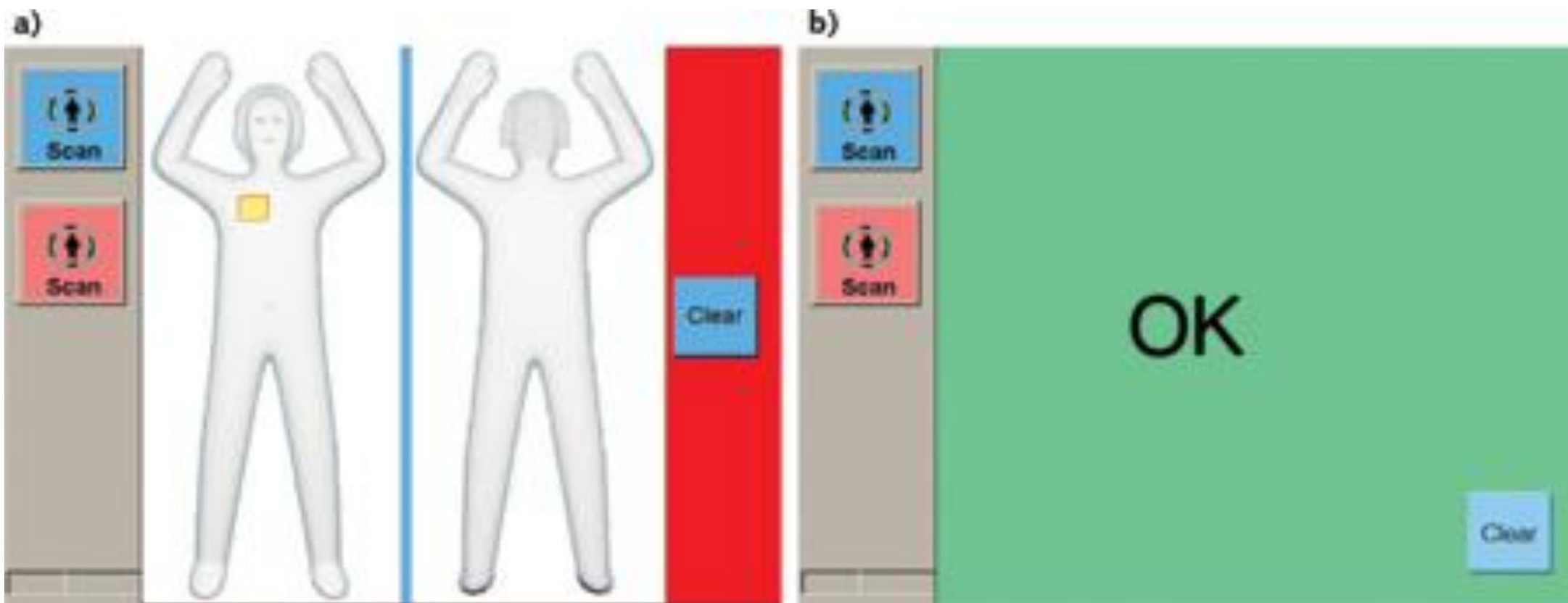
人體掃描-毫米波掃描儀





- 被動式毫米波安檢系統能夠偵測人體自然散發的波長約為1.2毫米的熱輻射光譜，這種輻射稱為「**黑體輻射**」。
- 人體上的隱藏物品可能會阻擋這種輻射，其熱輻射率或溫度與人體不同。這使得被動式毫米波系統能夠區分人體和隱藏物品。系統可以產生圖像，顯示隱藏物品的大小、形狀和位置，以便操作員判斷是否為目標物品。

ATP







Evolv Technology , Express



Xtract One設計旨在對武器（例如槍支、刀具、炸彈製造組件）發出警報，而不會對手機、鑰匙和錢包等無害物品發出警報

Liberty Defense Technology, Inc. › HEXWAVE HW2000



(R&S) QPS Walk2000



安檢掃描儀採用多陣列低功耗超寬頻無線電感測器，結合軟體自動即時偵測人體上隱藏的威脅物品，從而提供高解析度三維影像。受檢人員可以正常步速通過安檢門

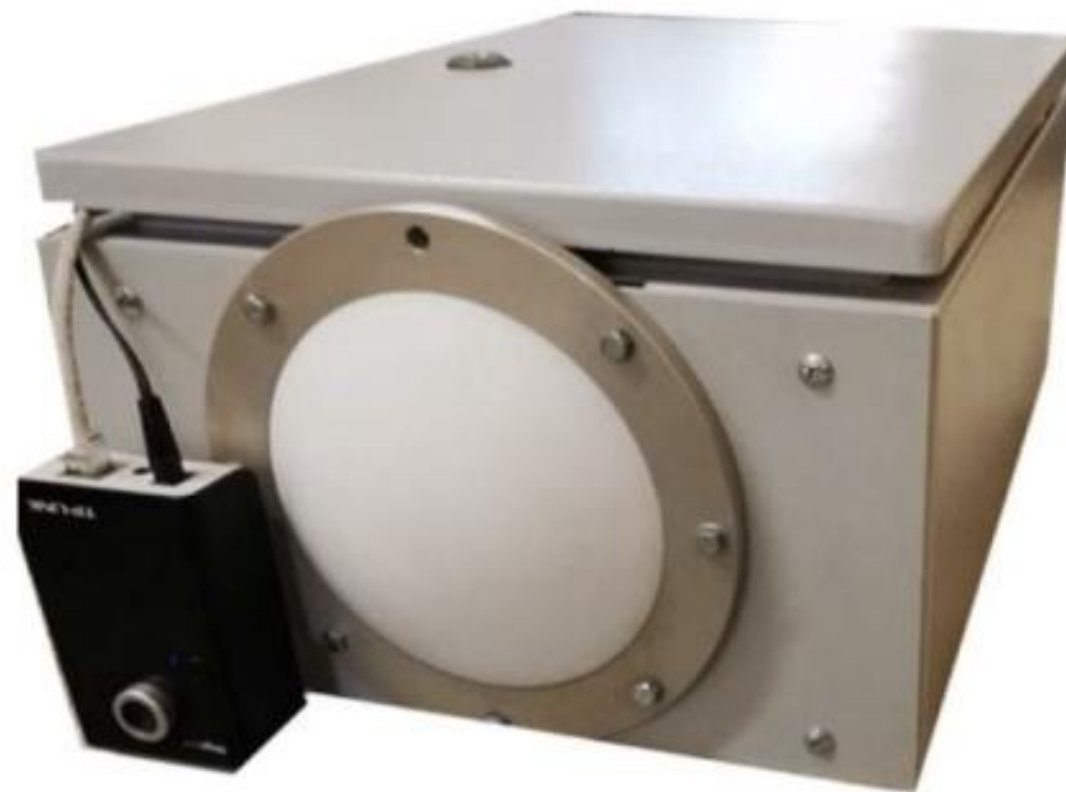
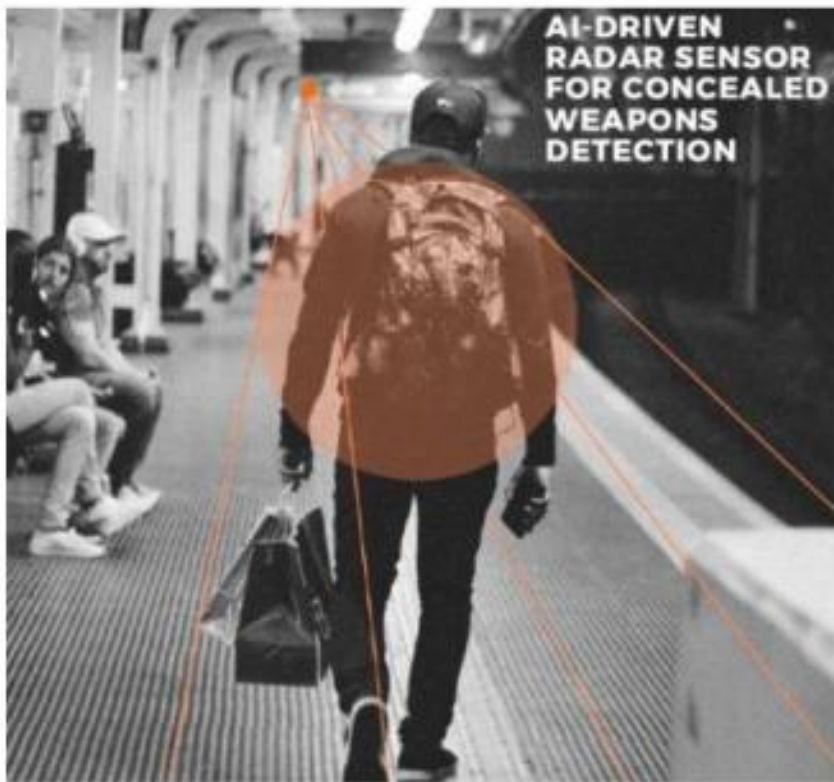
Thruvision HTC16



人員安檢攝影機，具有多車道視野，用於對進入會議、展覽和企業場所的多條通道的行人進行安檢。受檢者以步行速度依序通過通道，無需停留。外套和帽子等外套無需脫下，但包包必須放在一側，以便系統能夠清晰地拍攝到受檢者的身體

人體掃描儀-毫米波 (非成像式)

Elva-1 WAX 雷達



掃描移動人員，搜尋爆炸腰帶和簡易爆炸裝置（IED）中常見的金屬微粒。

Qinetiq SPO-NX



用作反恐工具，用於檢測攜帶在身上的簡易爆炸裝置 (IED)。由於掃描過程中無需受檢者與系統進行任何交互，SPO-NX 可以在不干擾行人通行的情況下掃描人群

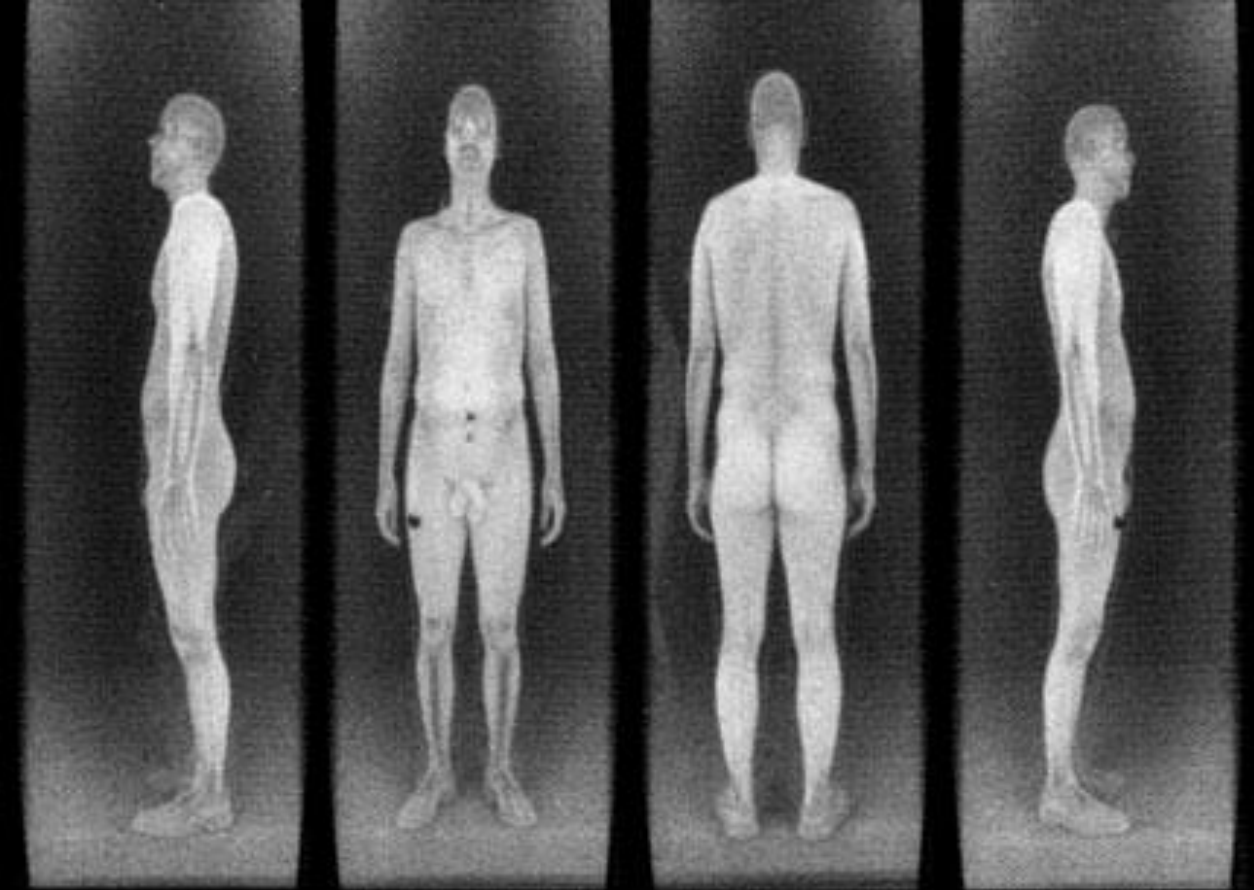
人體掃描儀-紅外線熱傳導

IR 紅外線掃描儀

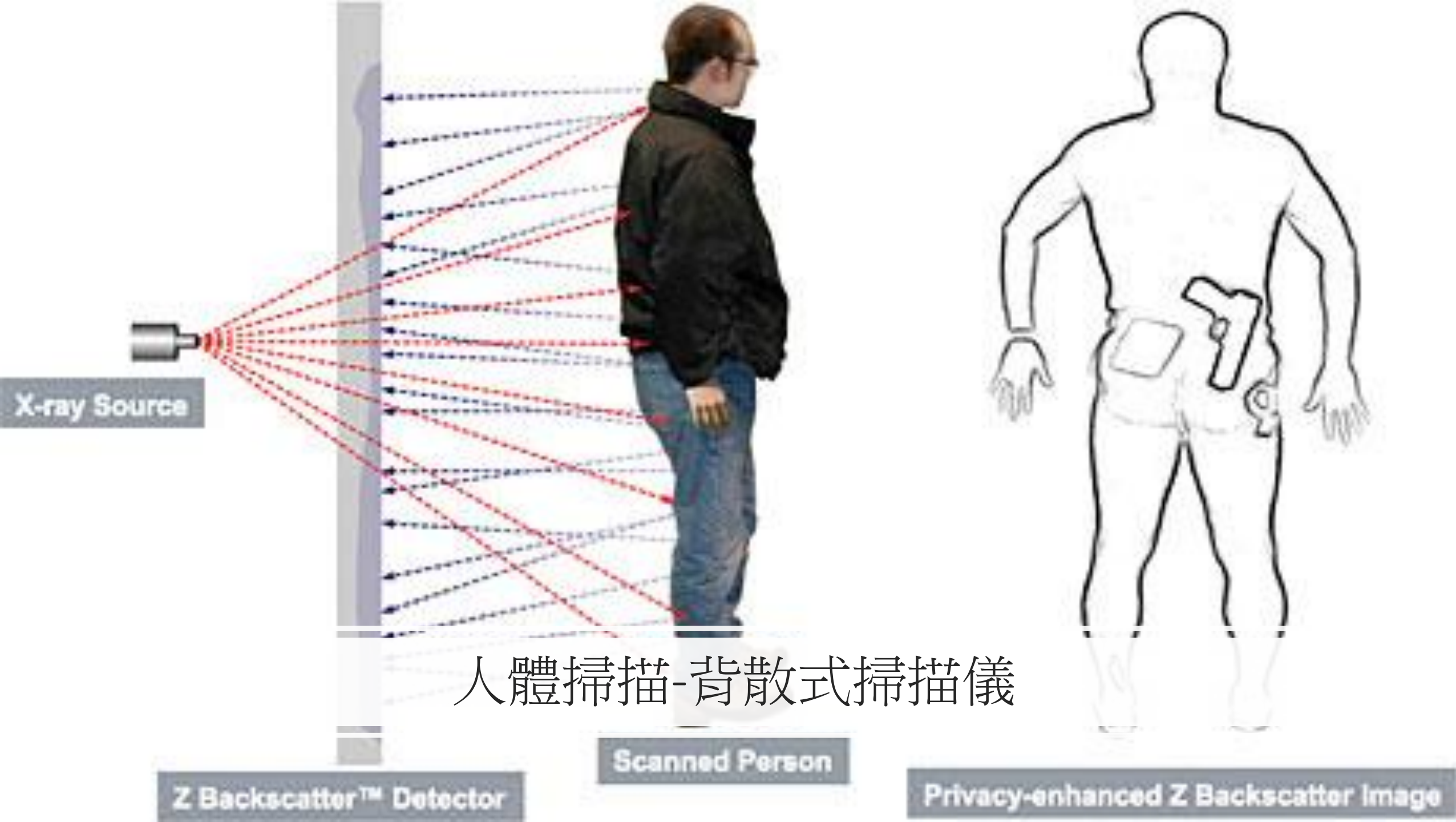


目前市面上以歐系的384X288畫素規格和美系的320X240/640x480畫素規格為主。

人體掃描儀-背散射技術

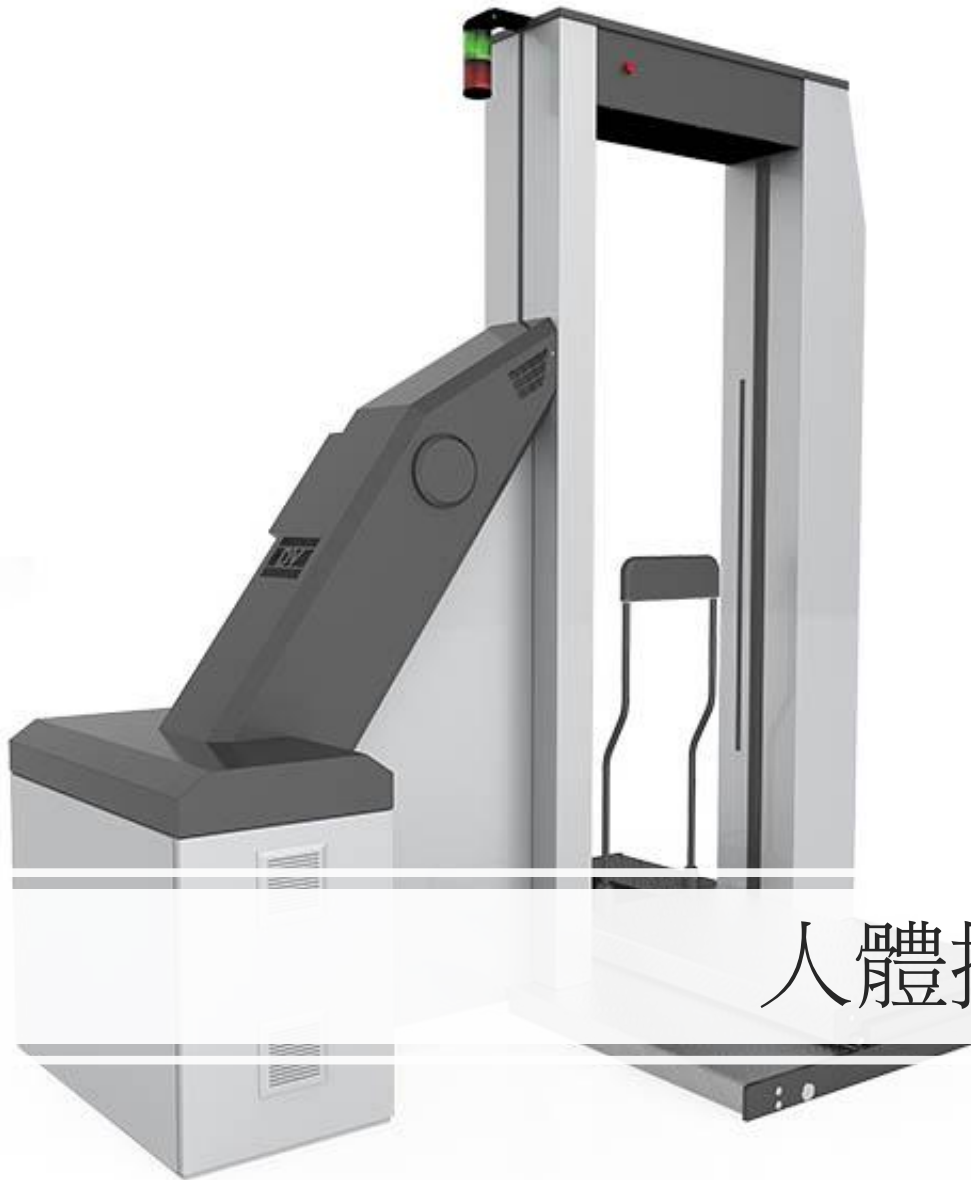


人體掃描-背散式掃描儀



人體掃描-背散式掃描儀

人體掃描儀-穿透式技術

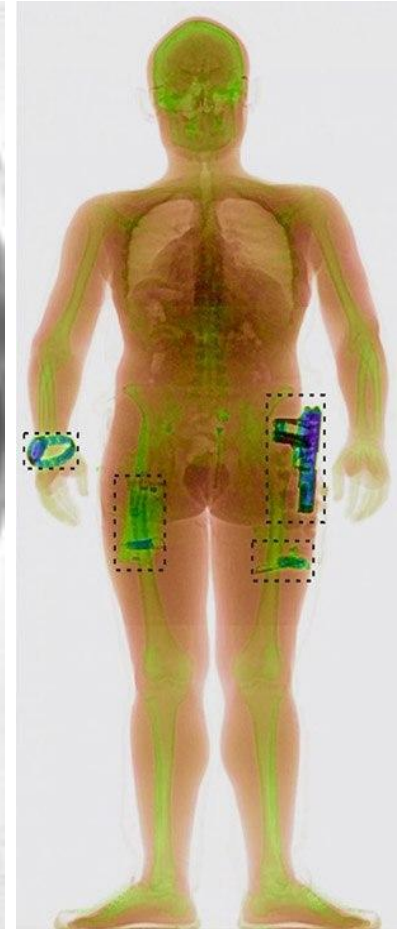


◀ FULL-BODY VIEW
▼ TORSO VIEW



人體掃描儀-X光掃描

人體掃描儀-X 光掃描



人體掃描儀自帶防護艙



輻射防護對策

- 涉及人體掃描非醫療用途照射，操作人員應領有輻射安全證書。
- 應符合 ANSI/HPS 43.17 standard
- 每次掃描輻射劑量為0.25 μSv typical

金屬探測儀

- 原理

金屬探測設備依靠金屬物體在磁場中運動時的相互作用來運作。

主動式金屬探測器 利用電路產生射頻電磁波(RF)，在構成通道的兩個側板或立柱之間形成磁場。

被動式金屬探測器 檢測鐵磁性物體經過感測器時地磁場的變化。





SafePointe 利用人工智慧(AI) 技術，透過過濾磁性特徵來避免對無害物品發出警報。它採用隱藏式感測器，無需任何操作、幹擾或保全人員在入口處進行安檢，即可對人員及其隨身物品進行篩檢。



SafeHound 門戶和感測器區域





CEIA OPENGATE 門戶和感測器區域



結束
問題與討論



移動型X光機輻射防護

- 醫療用X光機
- 法規規定應距離一般人1.8米以上
- 每次照射劑量大約為5-20微西弗
- 使用鉛屏風
- 必須有醫療需求，且不便行動





牙科型X光機

- 讓不便行動病人或不易安撫病人可順利完成診斷影像
- 或有特殊治療病人(如根管治療)可以無需移動至攝影室



醫用移動型X光機

讓無法行動病人有例行性診斷追蹤(如ICU病人或手術中病人)

天然放射性廢棄物-原能會案例

• 一、緣起

中國金屬化工股份有限公司(下稱中金公司)金山廠座落於新北市金山區

五湖里南勢湖 29 號，84 年 5 月向和協機構購置，主要進口含天然放射性物質之鈦鐵礦為原料，以硫酸法製造二氧化鈦，其產品廣泛應用於油漆、塗料、造紙、油墨、塑膠、橡膠及陶瓷等工業。由於我國環保法規管制日趨嚴格，民眾環保意識抬頭，加上生產成本提高，降低其競爭力，導致金山廠自民國 88 年元月停工迄今，廠房現已呈廢墟狀態。

天然放射性物質及其衍生廢棄物

(一) 原料：越南進口鈦礦砂約 2,954 噸，表面劑量率約每小時 0.36 微西弗（ $0.36\mu\text{Sv/hr}$ ）。

(二) 設備：溶解槽 2 只，表面劑量率約 $0.1436\mu\text{Sv/hr}$ ；原礦廢酸沉降槽 2 只，表面劑量率約 $3.986\mu\text{Sv/hr}$ 。

(三) 其他可能含衍生廢棄物之管路、閥門或機具等，其表面劑量率大於每小時 0.12 微戈雷，或對一般人所造成之個人年有效劑量大於 1 毫西弗者，不得外釋或轉作其他用途。偵測紀錄如附件一。

II偵檢器度量

請參考：輻射度量課程

- 常用的輻射偵檢器
 - ATOMTEX AT-1121
 - Inspector

輻射防護器材

- 鉛衣
- 鉛板

個人輻射防護

- 呼吸器

偵檢器原理

輻射偵檢器

- **1.充氣式偵檢器 (INSPECTOR)**
 - 游離腔型、比例型、蓋格型
- **2.半導偵檢器**
 - 矽 (Si)
 - 鍺 (Ge)
 - 銻化鎘 (CdTe)
- **3.閃爍偵檢器 (ATOMTEX AT1121)**
 - 有機：液態閃爍偵檢器等
 - 無機：固態碘化鈉（鉀）晶體等
- **4.劑量計**
 - 人員：Li6F + Li7F（被動型）、矽（主動型）
 - 環境：CaF2 + Li7F

輻射

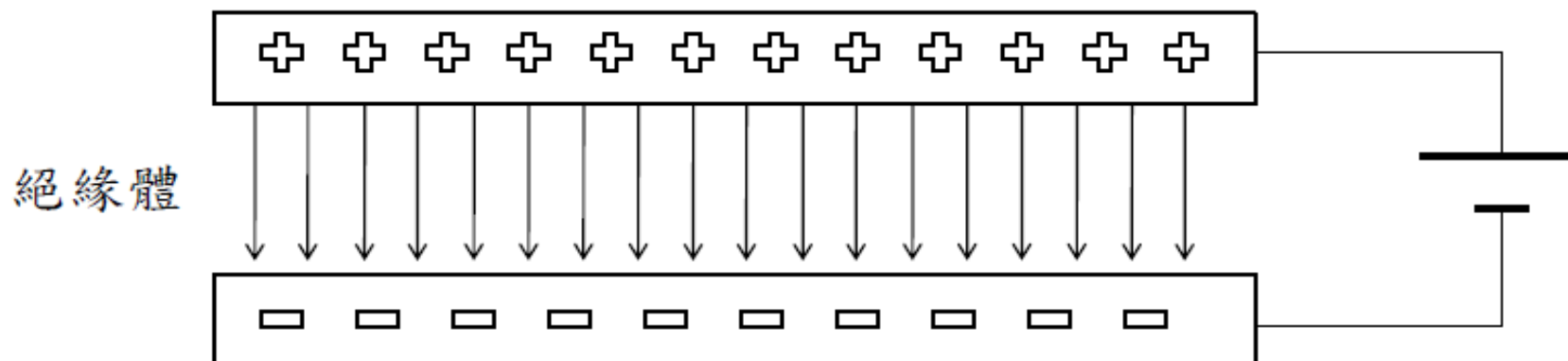
偵檢器	作用機制	輸出訊號	偵檢種類
充氣式偵檢器			$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
游離腔	游離	平均電流	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
比例型	游離	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
蓋格型	游離	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
半導體偵檢器	電子-電洞	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
閃爍體偵檢器	激發；光子；電子	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
熱發光劑量計	激發；光子；電子	電壓脈衝	β, γ, χ

充氣式偵檢器

基本操作原理

1. 充氣式偵檢器

- 像一顆電容
- 在腔管內產生一個游離電子電所需約 20~45 電子伏特

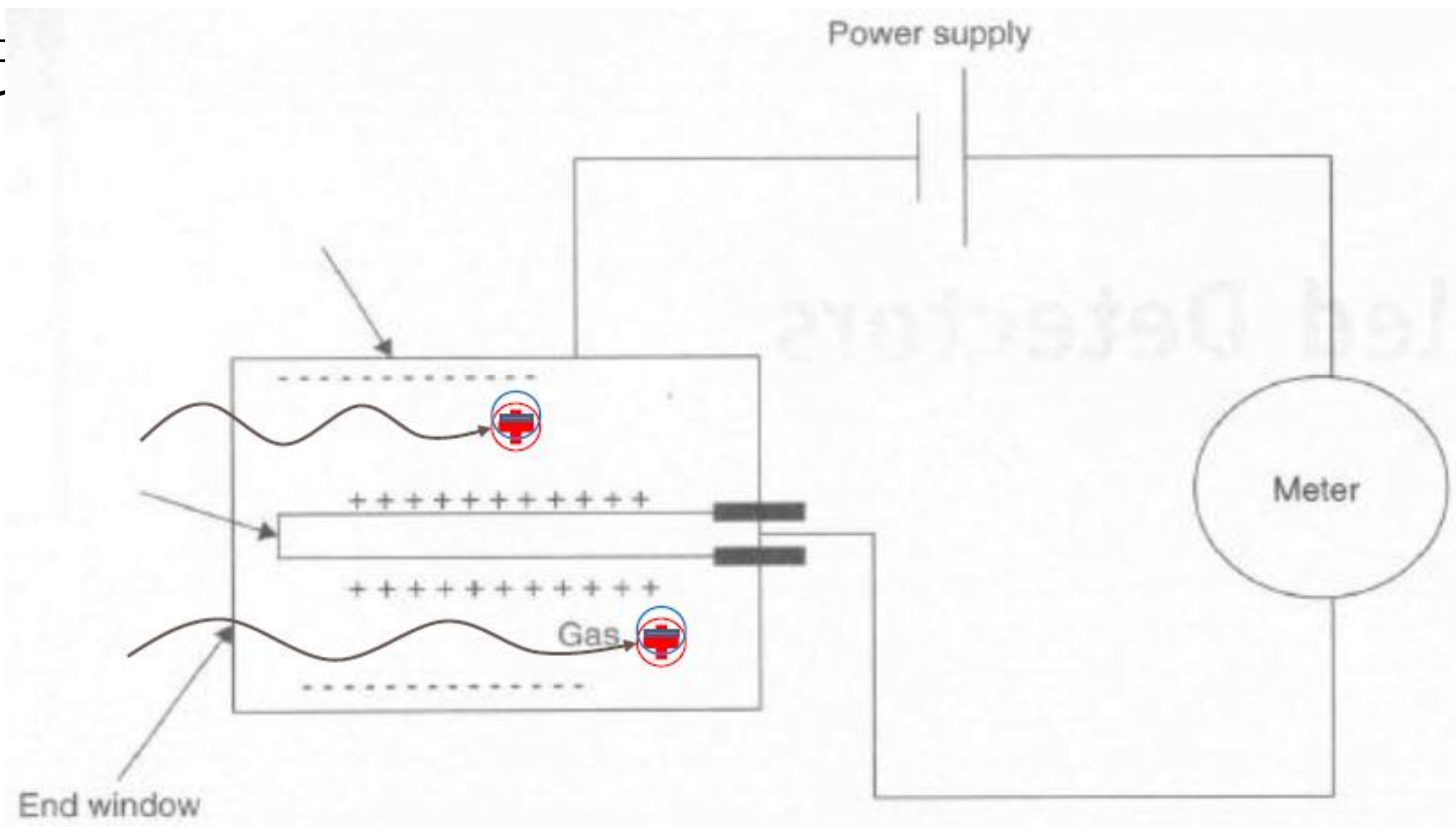


$$Q = C \cdot \Delta V$$

2. 充氣式偵檢器

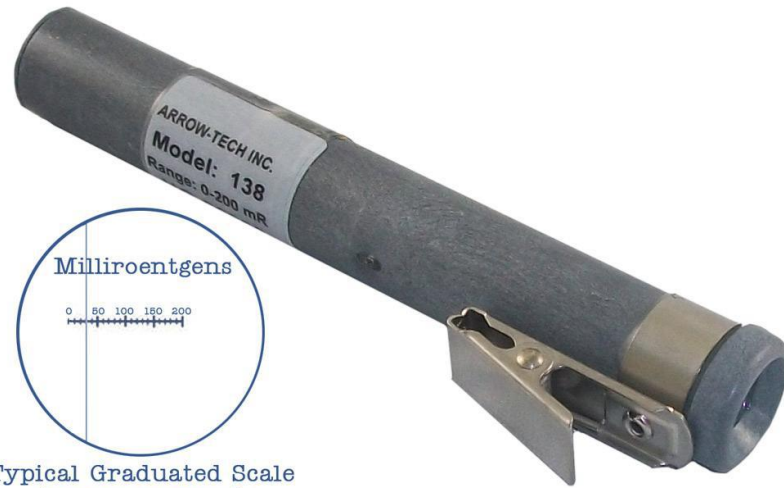
- 電池
- 電荷收集器（充氣式偵檢器）

充氣



圖：充氣式偵檢器工作原理示意圖

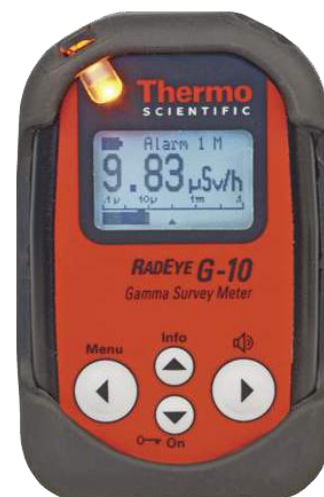
游離腔(筆型劑量器)



Typical Graduated Scale
(Enlarged View)



蓋格偵檢器(Geiger)



其它



比例計數器



實際應用—空浮收集



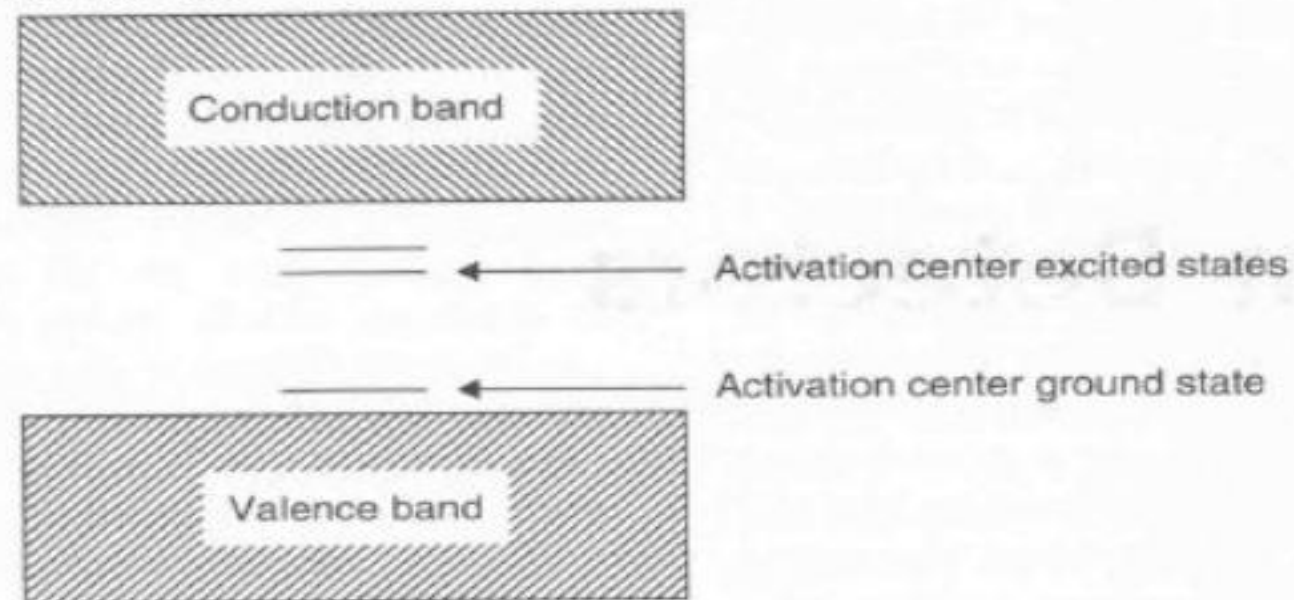
項 目	游離腔	比例計數器	蓋革偵檢器
偵測對象	α, β, γ, X	α, β, γ, X	α, β, γ, X
適用範圍	高劑量率	皆可	低劑量率
充氣氣體	空氣	P-10 (90%氬+10%甲烷)	氬、氫
工作高壓	50-500	250-600	400-1000
氣體增幅	無	有 (10^2-10^4)	有 (10^6-10^8)
陽極	金屬絲	不鏽鋼絲	鎢絲
抑止	不需	不需	外加電路或高電阻
輸出形式	電流式(多)脈衝式(少)	脈衝式	脈衝式
輸出訊號	0-1 mV	0-100 mV	0-10 V
電流意義	與入射劑量率成正比	—	—
脈衝意義	—	脈衝高度與粒子能量 成正比，脈衝數與粒 子數成正比	脈衝數與入射粒子 數成正比
鑑別器	不需	需要	不需
劑量靈敏度	較差	高	高
準確度	高	高	較差
能譜分析	可(脈衝式)，但很少用	可(主要用途)	否
手提偵檢器	可	可(固定式較多)	可

閃爍體偵檢器

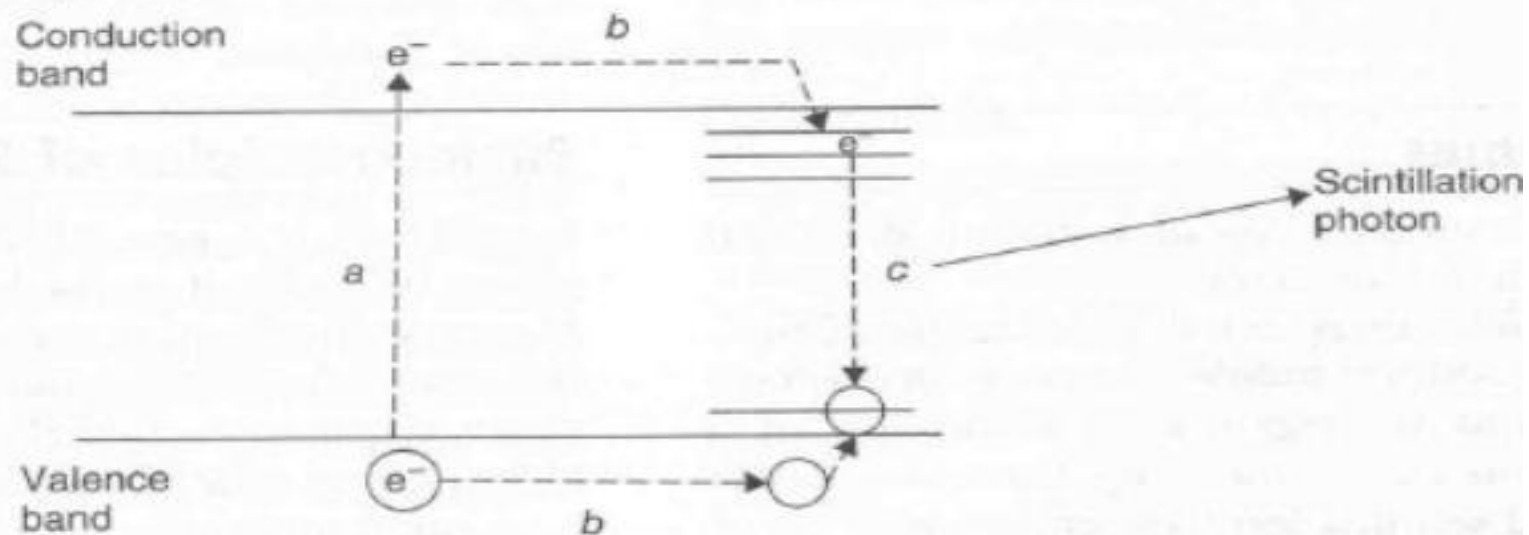
閃爍 1. 碘化鈉（鉍）閃爍晶體（NaI(Tl)）

- 晶體：無機閃爍晶體（alkali halide）
- 碘化鈉（鉍）晶體：摻雜比例約在0.1~0.5%
- 活化能區：鉍不純物
- 合適偵測能區：低能加馬輻射
- 物理特性：透明狀晶體、易脆、易潮解（hygroscopic）
- 高產光率：產光範圍325 ~ 550 nm
- 消失時間（decay time）：230 ns
- 閃爍光效率：~13%
- 缺點：易潮解、低能量解析度

a) Delocalized bonding



b) Scintillation process



圖：碘化鈉（鉈）閃爍體晶體能帶示意圖

Table 8.3 Properties of Common Inorganic Scintillators

	Specific Gravity	Wavelength of Max. Emission	Refractive Index	Decay Time (μ s)	Abs. Light Yield in Photons/McV	Relative Pulse Height Using Bialk. PM tube	Reference:
Alkali Halides							
NaI(Tl)	3.67	415	1.85	0.23	38 000	1.00	
CsI(Tl)	4.51	540	1.80	0.68 (64%), 3.34 (36%)	65 000	0.49	78, 90, 91
CsI(Na)	4.51	420	1.84	0.46, 4.18	39 000	1.10	92
Li(Eu)	4.08	470	1.96	1.4	11 000	0.23	
Other Slow Inorganics							
BGO	7.13	480	2.15	0.30	8200	0.13	
CdWO ₄	7.90	470	2.3	1.1 (40%), 14.5 (60%)	15 000	0.4	98–100
ZnS(Ag) (polycrystalline)	4.09	450	2.36	0.2		1.3 ^a	
CaF ₂ (Eu)	3.19	435	1.47	0.9	24 000	0.5	
Unactivated Fast Inorganics							
BaF ₂ (fast component)	4.89	220		0.0006	1400	na	107–109
BaF ₂ (slow component)	4.89	310	1.56	0.63	9500	0.2	107–109
CsI (fast component)	4.51	305		0.002 (35%), 0.02 (65%)	2000	0.05	113–115
CsI (slow component)	4.51	450	1.80	multiple, up to several μ s	varies	varies	114, 115
CeF ₃	6.16	310, 340	1.68	0.005, 0.027	4400	0.04 to 0.05	76, 116, 117
Cerium-Activated Fast Inorganics							
GSO	6.71	440	1.85	0.056 (90%), 0.4 (10%)	9000	0.2	119–121
YAP	5.37	370	1.95	0.027	18 000	0.45	78, 125
YAG	4.56	550	1.82	0.088 (72%), 0.302 (28%)	17 000	0.5	78, 127
LSO	7.4	420	1.82	0.047	25 000	0.75	130, 131
LuAP	8.4	365	1.94	0.017	17 000	0.3	134, 136, 13
Glass Scintillators							
Ce activated Li glass ^b	2.64	400	1.59	0.05 to 0.1	3500	0.09	77, 145
Tb activated glass ^b	3.03	550	1.5	~3000 to 5000	~50 000	na	145
For comparison, a typical organic (plastic) scintillator:							
NE102A	1.03	423	1.58	0.002	10 000	0.25	

^afor alpha particles

^bProperties vary with exact formulation. Also see Table 15.1.

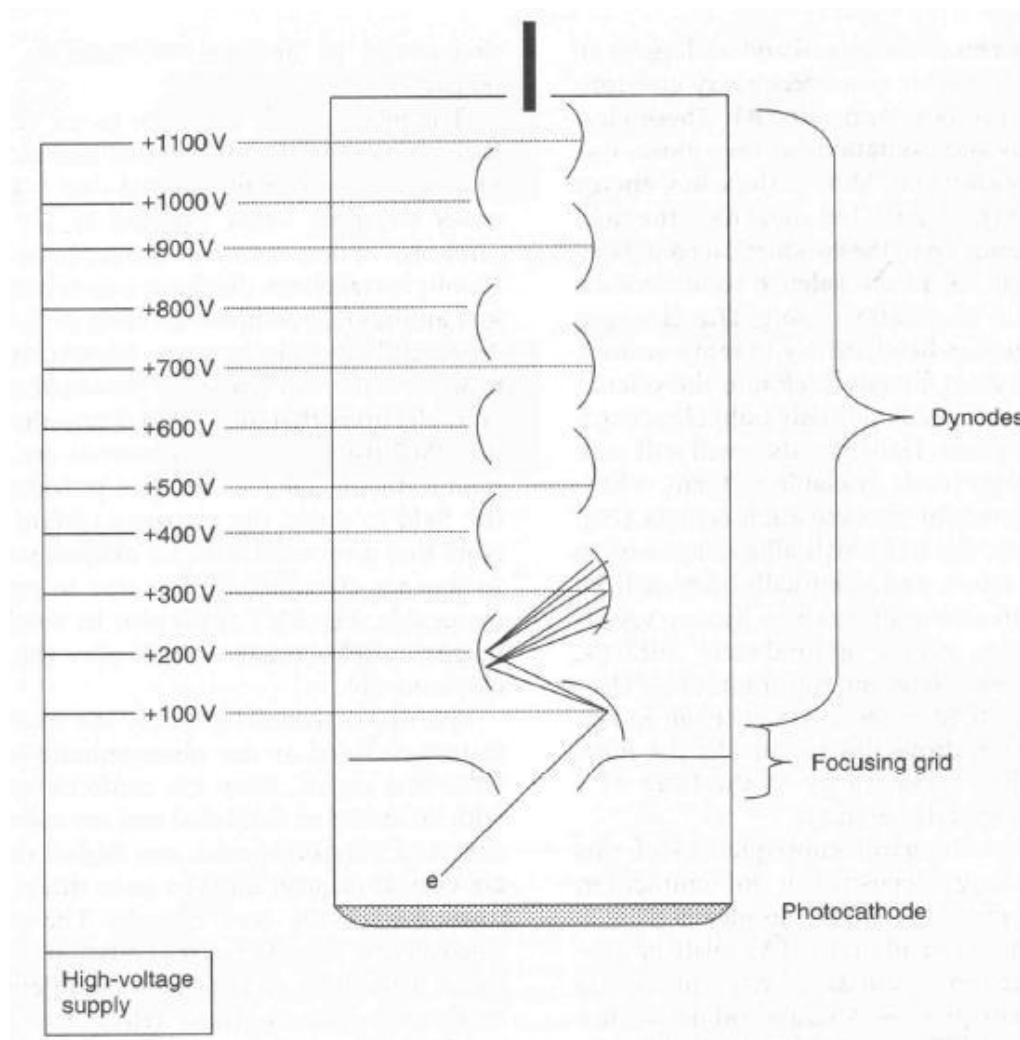
閃爍偵檢器-基本原理(2)

- 光電倍增管（ **Photomultiplier tube; PMT** ）
 - 光陰極（ photocathode ）
 - 光陰極材料： K_2CsSb 、 Na_2KSb ；鹼金屬化合物、鈉-鉀-銻-銱）
 - 聚焦柵（ focusing grid ）
 - 代鈉倍極（ dynodes ）：通常一個PMT含9~12個代鈉倍極
 - 高壓系統：供應PMT工作使用

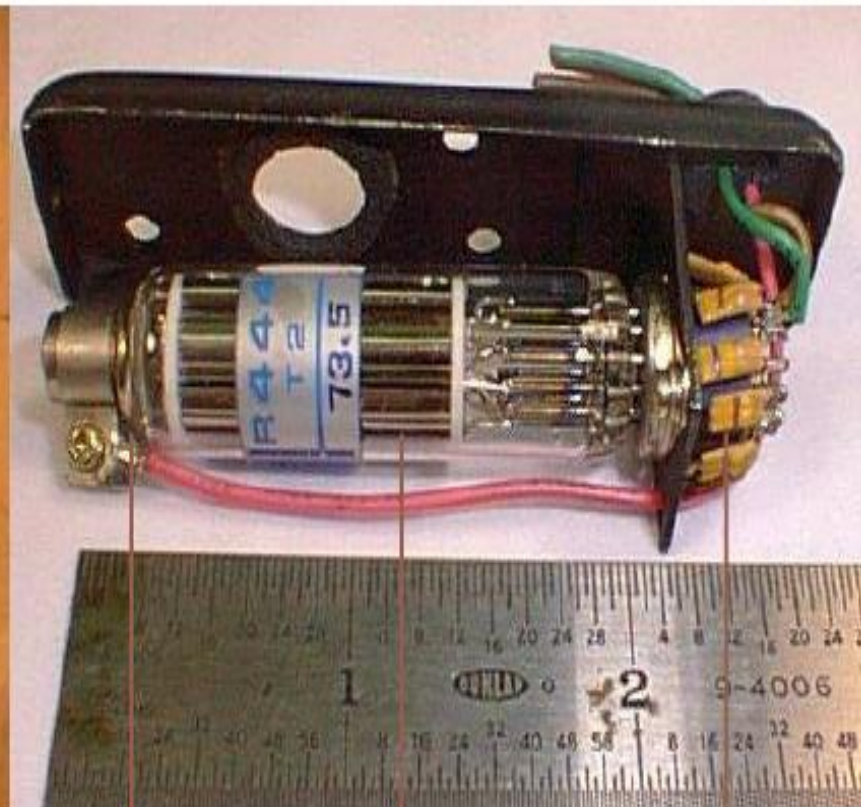
註：閃爍偵檢器系統裡的「高壓」非常重要，如果高壓有1%變化的話，將導致輸出脈衝大小10%的變化。

光電倍增管(

1T)



光電倍增管 (PMT)



閃爍晶體

光電倍增管

信號輸出

□ 自動加馬計數儀(auto gamma counter)



圖：井型式的閃爍計數儀「自動加馬計數儀」系統

□ 貝他閃爍計數儀(beta counter)

- ▶ 液態閃爍計數儀(Beta-counter)，其檢體測試形式可為液體（有機溶劑閃爍介質）或固體（固態閃爍介質）檢體。
- ▶ 原理是利用閃爍介質吸收了放射性能量後會發射低能光子。再收集光子數量，而對檢體中特定物質作定量分析。



其他輻射防護器材

輻射防護器材





鉛眼鏡

0.5mm 鉛當量



鉛衣架



鉛屏風



性腺防護



鉛圍裙



生殖腺防護

生殖器官的理想保護選擇

各種尺寸兼適用

易穿脫設計

1.0mm 鉛當量

鉛手套

超彈性手套設計提供您舒適的手感

無縫表面可完全阻擋輻射

好穿易脫不卡手

偵測器輻射度量操作

輻射偵檢器

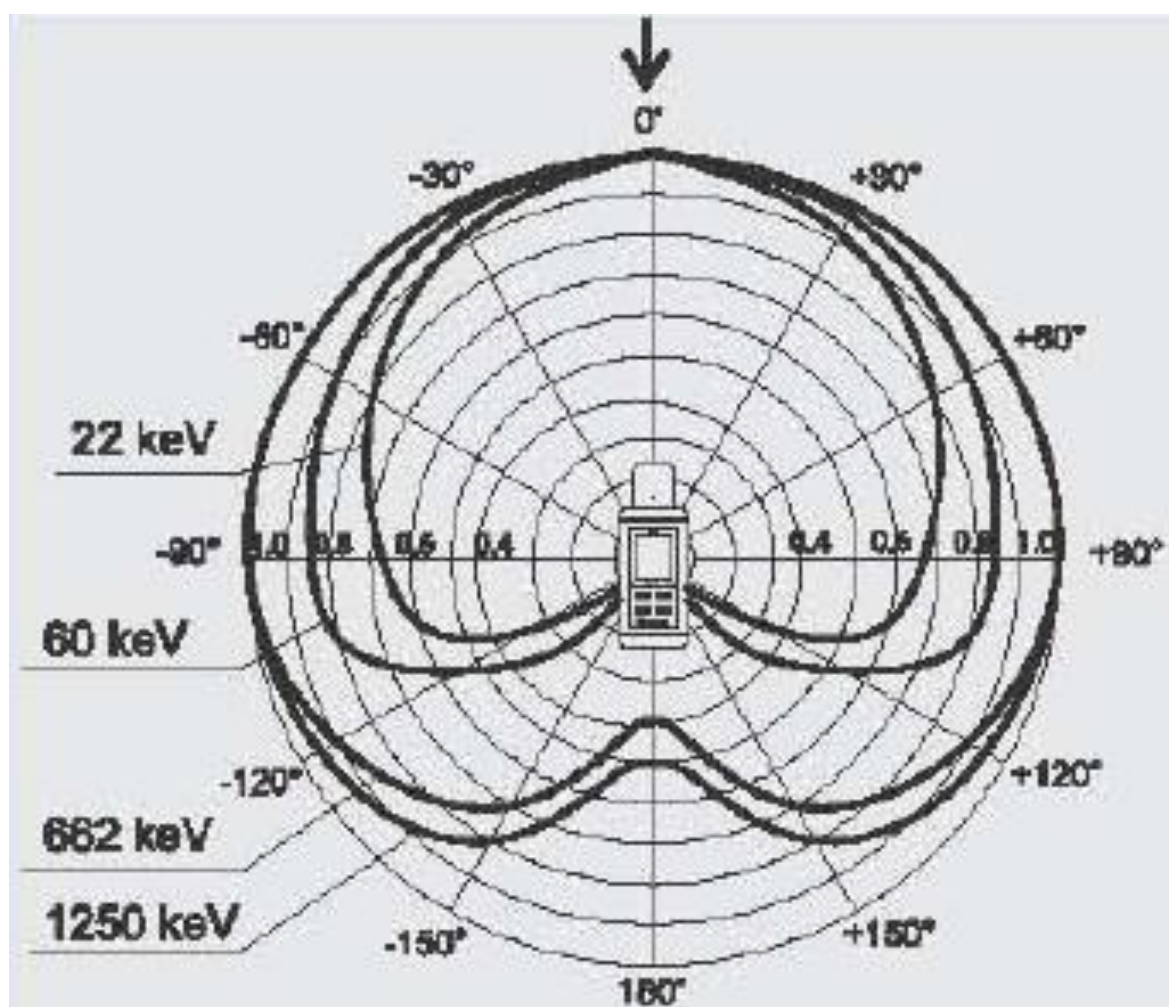
- ▶ 比較游離腔蓋革管與閃爍體偵測器特性：



輻射偵檢器選擇重點

- 準確度：
 - 指儀器的讀數與真正的劑量率之比值（校正因子＝劑量率/讀數）真正的劑量率由標準射源計算或由標準游離腔標定射源於某距離之劑量率，儀器讀數與真正劑量率越接近越佳。
- 再現性：
 - 儀器對固定的輻射強度在相同的條件下，讀數之比較，讀數越接近越好

- 角度依存性：
 - 偵檢器幾何形狀不同（非圓形），在不同角度上亦會產生儀器讀值之差異，因此，在偵測時須注意儀器度量位置，尤其有開窗偵檢器，如窗不能正對輻射源方向，讀數會明顯偏低。一般輻射儀器的角度依存性 $0^{\circ}-45^{\circ}$ 最好在 $\pm 20\%$ 內。
- 對非偵測輻射的反應：
 - 有些偵檢器度量只針對某一種輻射，因此，對於不想度量的輻射最好沒有反應如偵測X or γ -ray最好對中子沒有反應，測中子的最好對光子不要有反應



**Normal dosimeter anisotropy
for horizontal plane**

實作：輻射度量步驟

依偵檢器操作手冊，開機後待穩定後再進行測量。

- 1.執行偵測前應先檢查儀器功能是否完善、充電是否正常，校正日期是否合於規定。
- 2.檢查時偵檢器應盡可能接近材料表面，並以掃描方式全面偵測為佳。
- 3.偵測時在每個測量點停留時間，需依所使用儀器之反應時間而定，蓋格偵檢器10秒以上，碘化鈉偵檢器3秒以上。
- 4.完成一個材料量測後將平均值記錄於紀錄表內。

實作：注意事項

- 若測量時儀器顯示劑量偏高，則需停留在該點，觀察劑量變化情形，並以平均值為依據，判斷結果及處理方式。
- 行李X光機法規規定值為表面5cm處應小於 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，但管制區外應小於 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ，若X光機外即為管制區外，如可能造成人員輻射劑量，必要時應適時拉大管制區範圍。

問題與討論：

- 游離腔蓋革管與閃爍體偵測器偵測結果？
- 距離遠近對讀值影響？
- 屏蔽厚度對讀值影響？
- (+)測量不同角度對讀值影響？
- 其它

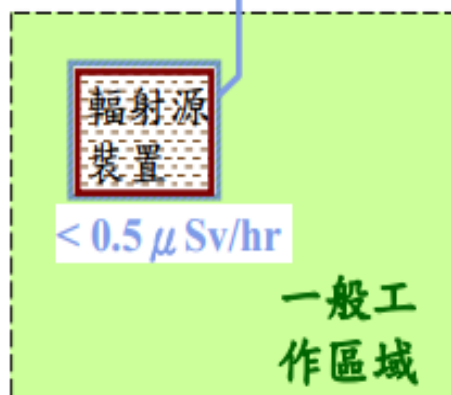
作業場所管制區?非管制區?

案例1

輻射工作場所

管制區

輻射工作場所
(管制區)

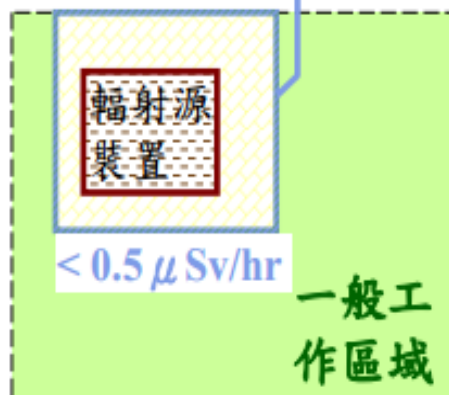


部份登記類裝置，如
ECD、XRF(不涉及維
修、拆移輻射源)

案例2

輻射工作場所

管制區 (圍籬、房間)

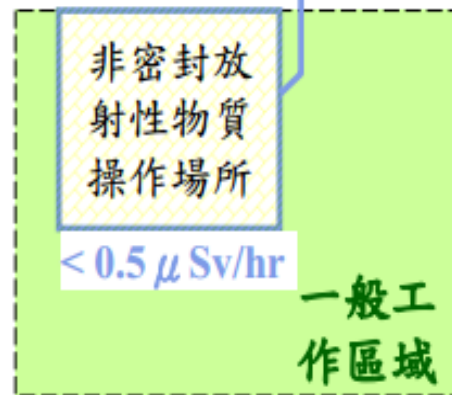


動物X光機、照射器...等

案例3

輻射工作場所

管制區 (圍籬、房間)



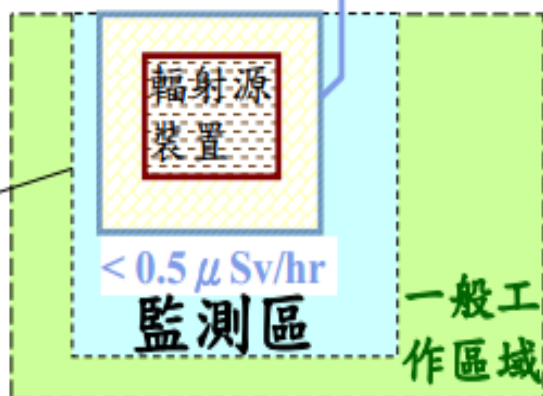
放射性同位素實驗室

案例4

輻射工
作場所
(管制區
+
監測區)

輻射工
作場所

管制區(大區域)



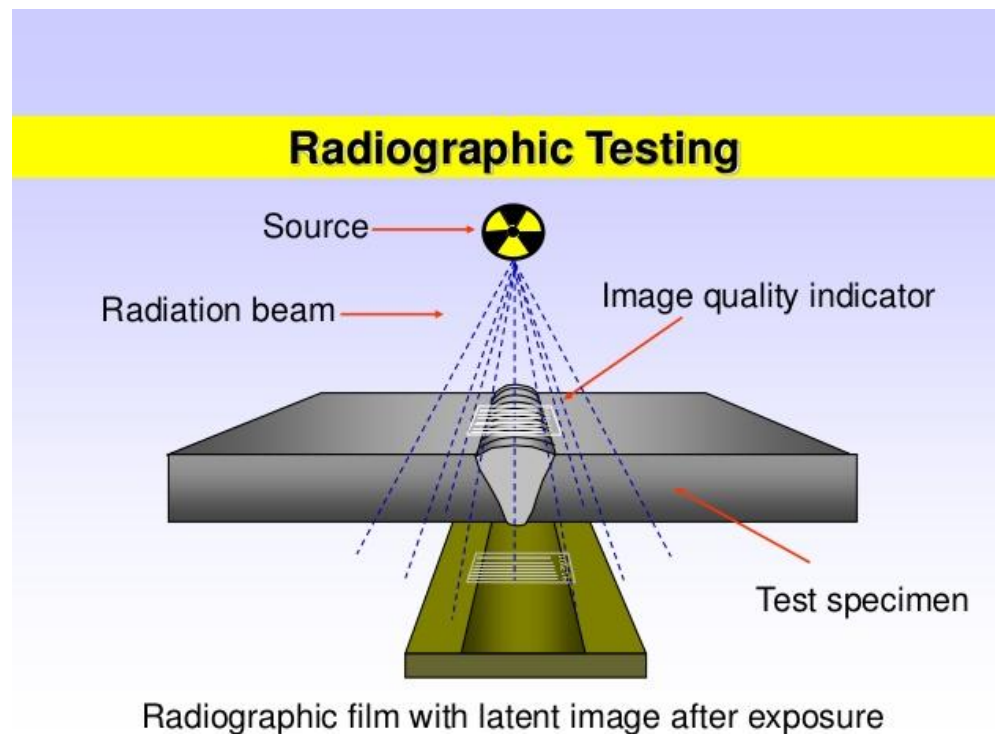
加馬強輻射源輻射偵測及輻射防護

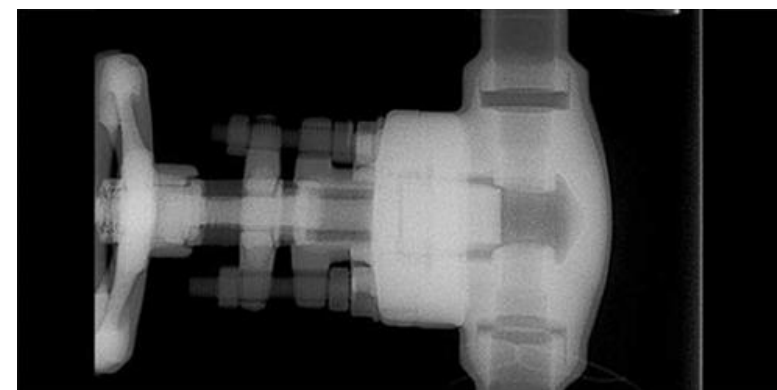
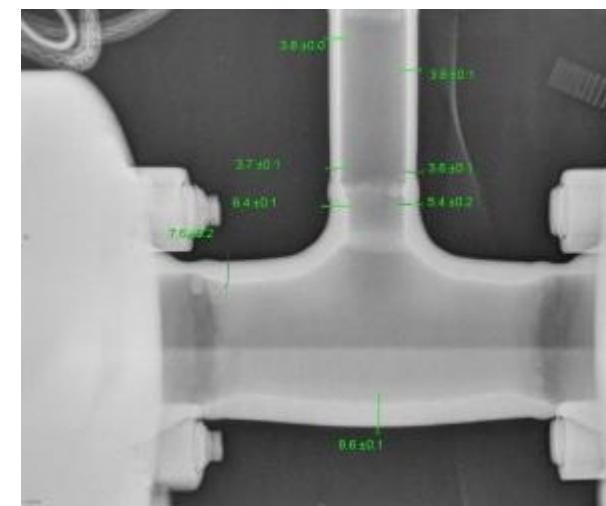
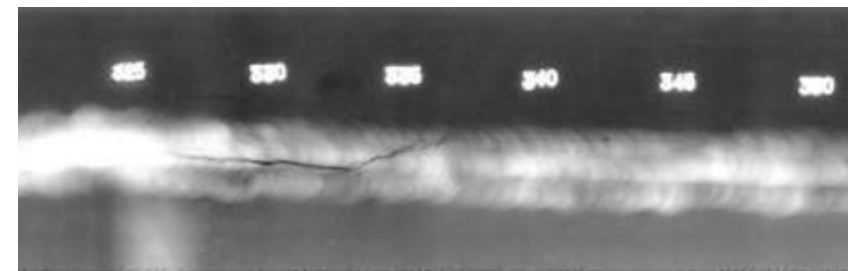
應用例

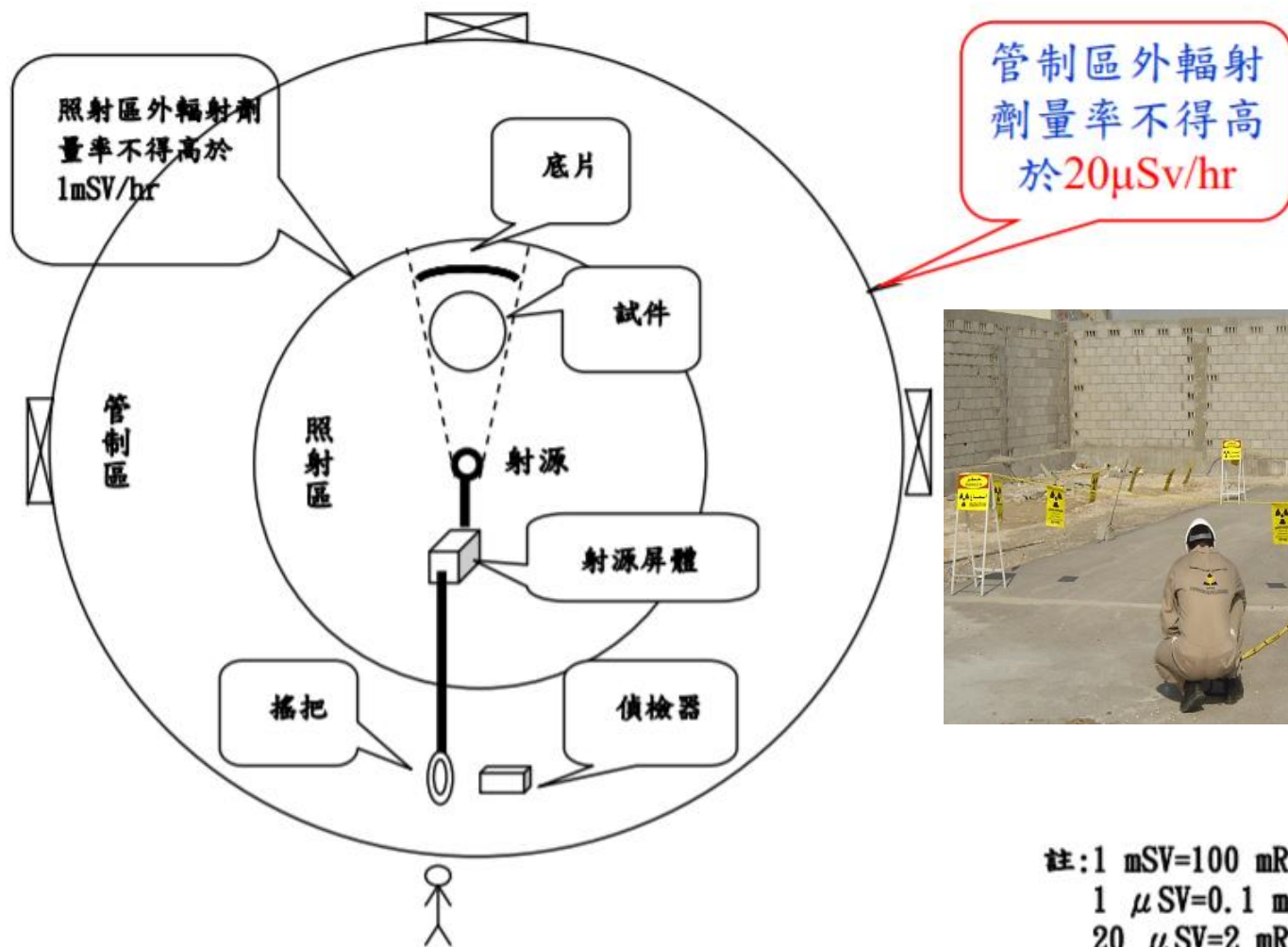
▶ 放射檢驗照相



- ▶ 作業前必須規劃管制區及照射區。現場應實施管制非相關人員進出。







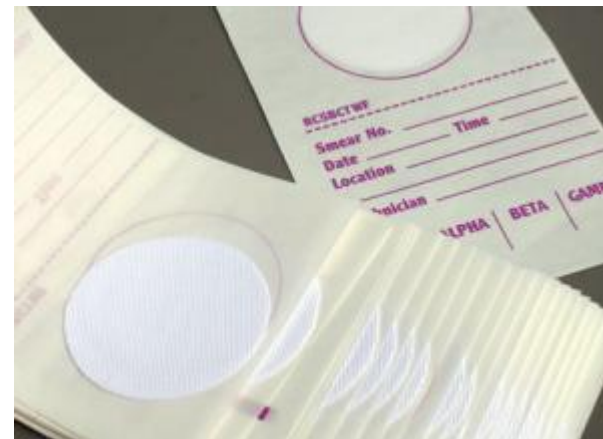
註:1 mSV=100 mR
1 μSV=0.1 mR
20 μSV=2 mR

輻射汚染偵測

應用操作例

▶ 採樣—使用標準拭紙(Smear)

- 1.在疑似污染表面以拭紙
取約10cm*10cm面積採集擦拭
污染物。
- 2.置入低背景計器計讀盤計讀。
- 3.任何可接觸之表面阿伐污染
每 100 平方公分(cm^2) 不超過
2 貝克(Bq)
貝他/加馬則每 100 平方公分
(cm^2) 不超過 4 貝克 (Bq)



作業場所輻射偵測

▶ 一、固定型放射性物質或可發生游離輻射設備場所平面圖及屏蔽規劃內容：

- (一)放射性物質或可發生游離輻射設備之位置描述及透視圖。
- (二)場所四周之狀況（含樓上、樓下）描述。
- (三)場所四周屏蔽材料及厚度。
- (四)主射束照射方向。
- (五)各進出大門位置。
- (六)鉛玻璃位置及鉛厚當量；無此規劃者免。
- (七)進出大門應安裝安全連鎖之位置。
- (八)進出大門應張貼輻射警示標誌及裝置警示燈之位置。
- (九)使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。
- (十)其他相關防護措施。

▶ 二、移動型放射性物質或可發生游離輻射設備場所規劃內容：

(一)放射性物質或可發生游離輻射設備之使用場所及場所四周描述。

(二)主射束照射方向之描述。

(三)使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。

(四)設有可移動式鉛防護屏蔽者，並應註明屏蔽之鉛厚當量或其他相關防護措施。

- ▶ 三、醫用治療之放射性物質或可發生游離輻射設備，應於治療室中設置監視器及緊急停止等裝置。
- ▶ 四、高強度輻射設施之使用場所，應設置警報器、監視器、急停裝置及安全連鎖裝置。
- ▶ 五、移動型放射性物質或可發生游離輻射設備經常在同一地點使用者，應視為固定型。
- ▶ 六、醫用之可發生游離輻射設備，於同一治療室或 x 光室裝置兩部或兩部以上，各設備間應置有切換開關。放射性物質不得於同一治療室或 x 光室裝置兩部或兩部以上。

輻射安全測試報告

名 稱	廠 牌	型 號	序 號	備 註
X 光 機				
X 光 管				
最大管電壓_____kVp；最大管電流_____mA；最長照射時間_____秒				

五、測試項目：(合格項目請打「V」、免驗項目劃)

一般規定	☒1. 備有本設備之操作手冊。 ☒2. 備有適當之鉛防護圍裙。 ☒3. 門扉上裝有與 X 光機連動之安全連鎖裝置。 ☒4. 門扉上裝有標準之輻射示警標誌並有 X 光室或輻射管制區等警語。 ☒5. X 光室外門上裝有輻射警示燈，並與輻射連動。 (若 X 光機因原廠設計輻射警示燈無法與輻射連動，則輻射警示燈應與安全連鎖連動。) ☐6. 錐體尖端照射區域之 X 光照野直徑不大於 7.6 cm。(無錐體者免驗) ☒7. 靶至皮膚距離在最高管電壓為☐50kVp(含)以上不小於 18cm。 ☐50kVp 以下不小於 10cm。 ☒8. 有用射柱全部永久過濾片： ☐在管電壓為 70kVp(含)以下時，不小於 1.5mmAl_{eq.}。 ☒在管電壓為 70kVp 以上時，不小於 2.5mmAl_{eq.}。 (加鋁套筒/未加鋁套筒之比值： /)
	☐6. 備有限制有用射柱大小之☐錐體；☐準直儀。 ☐7. 準直儀光闌指示燈光照射範圍一致。(應小於靶至檯面距離之 2%，無光闌指示燈者、乳房攝影用 X 光機及乳房攝影用 X 光機（巡迴車）免實施本項測試。)

輻射安全測試報告

六、X 光管之輻射偵測：

請註明測量點及距靶一公尺處最高滲漏輻射空氣克馬值：「小於 0.87mGy/h(0.87mSv/h)」

七、X 光室之輻射偵測：

測定條件_____kVp_____mA_____sec	
☐ 管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過 $10\mu\text{Sv/h}$ 。(≥ $10\mu\text{Sv/h}$ 者需附符合工作人員年劑量限度說明)。	☐ 管制區外距任何可以接近 X 光室四週障壁外表面 30cm 處之劑量率最高不超過 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 。(> $0.5\mu\text{Sv/h}$ 者需附符合一般人年劑量限度說明)。

X 光室及周圍環境平面圖（測得之劑量平均值請註明於圖上相關位置）

倘因部分特殊醫療需要，病患無法至 X 光室內接受檢查，需使用移動型功能於診療台上進行檢查，則醫療院所需另備置移動式鉛屏風，並加做以下測試：

測定條件_____kVp_____mA_____sec
☐ 管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過 $10\mu\text{Sv/h}$ 。(≥ $10\mu\text{Sv/h}$ 者需附符合工作人員年劑量限度說明)。

X 光機偵測場所平面圖（測得之劑量平均值請註明於圖上相關位置）

請測量人員居佔距靶 180cm 處之劑量率，使用鉛屏風時請測量鉛屏風後之劑量率。

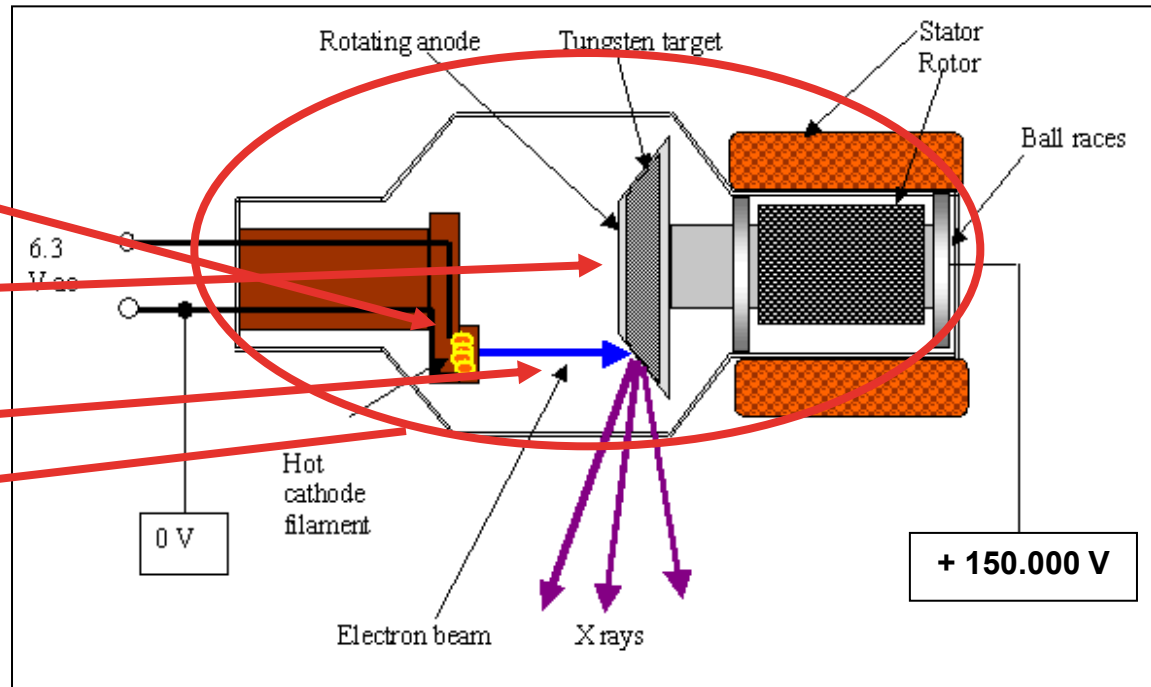
相關醫用型X光機國際測試法規

- ▶ **IEC-60601-1-3** Medical electrical equipment –
Part 1-3: General requirements for basic safety and essential performance –Collateral Standard: Radiation protection in diagnostic X-ray equipment
- ▶ **IEC-61223-3-4** Evaluation and routine testing in medical imaging departments –Part 3-4: Acceptance tests –Imaging performance of dental X-ray equipment

行李X光機原理及輻射防護

X-RAY TUBE

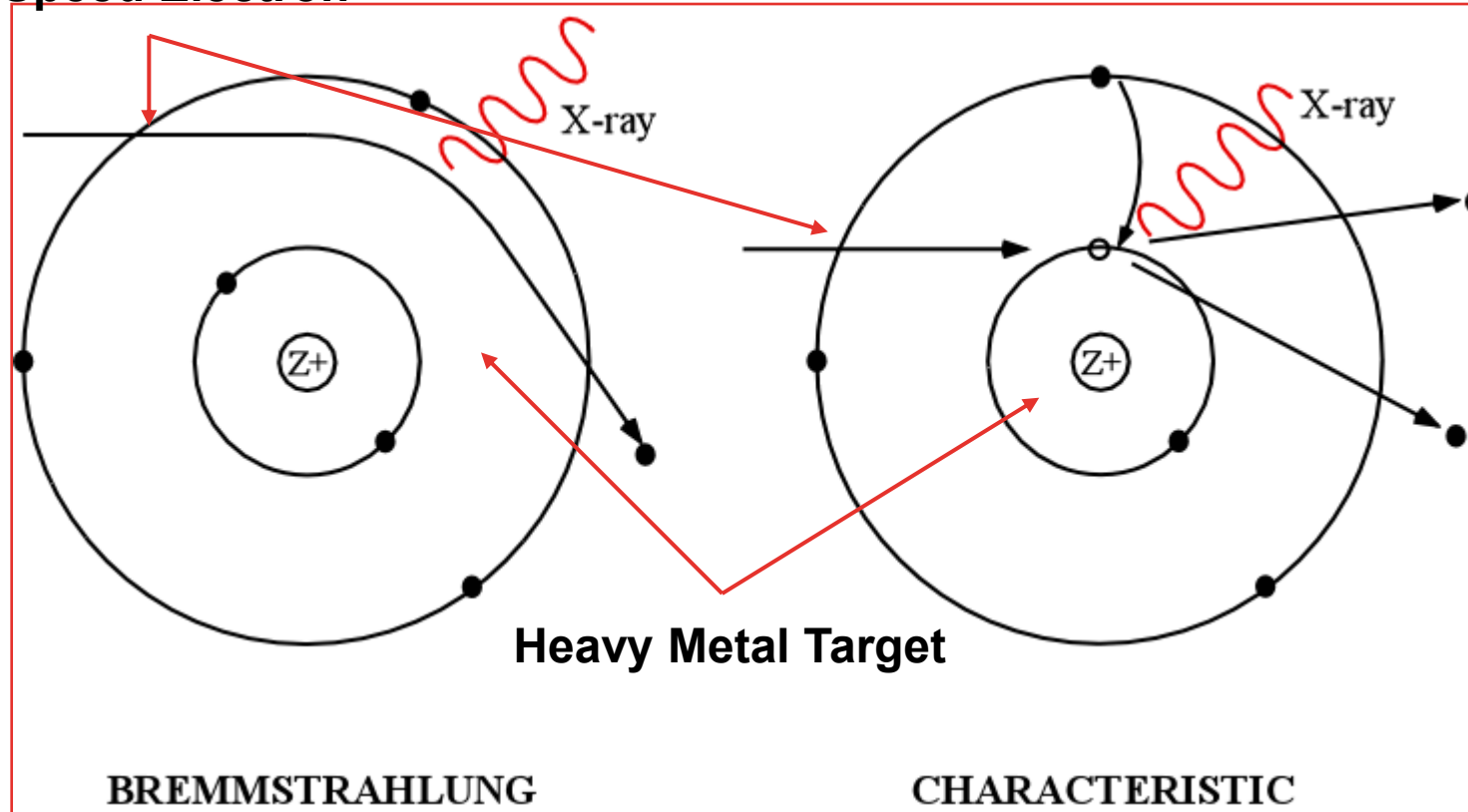
- Hot filament (cathode)
- Tungsten target (anode)
- Electron Beam
- Vacuum



X-ray production

X-RAY PRODUCTION

High Speed Electron



Electron



X-ray photon + heat

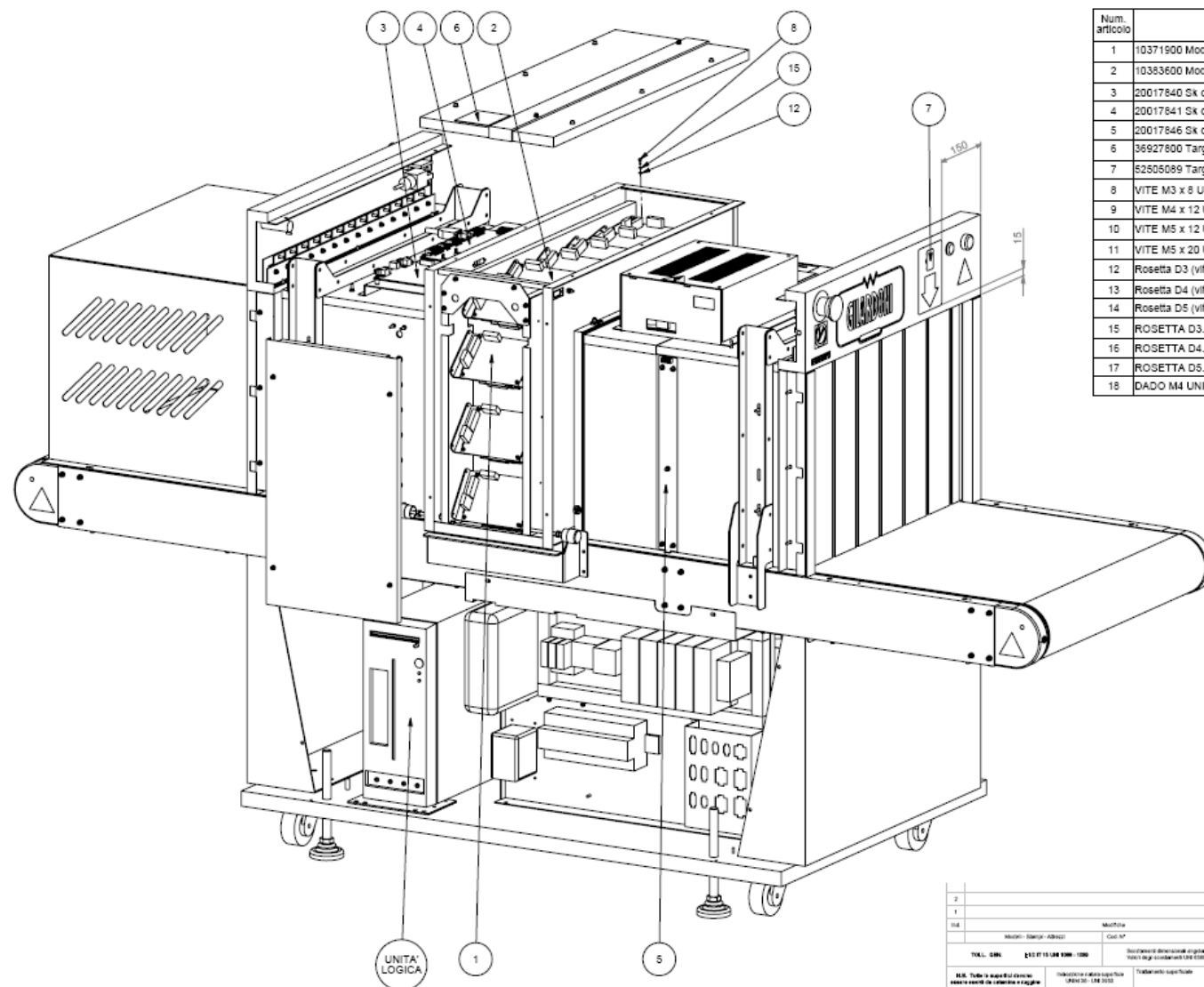
1 5 10390600 10397600 2 4 3

3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

2
1
104
Modello: (Serie) (Anno)
TAV. 2000 2400 15.000 1000
R.S. Tabella tecnica di riferimento
24-07-2010
GILARDONI
Tavoia 2 completam

2									
1									
Tit.	Alcortina		Alcortina		Progetto		Stato		Approv.
	Modulo: Stampo: A03002		Cod. M°		Cod. M°				
TAV. 200		1:10 0/10 1000 - 1000		Documenti descrittivi allegati: 0001-0002 Vedi progetto standard del CSM-0001-0002					
R.L. Tavola in formato A3 con numero scritto in stampo a rullo				Indicazione di scala superiore 1:100 0/10 1000		Tabella di scala			
Data: 24-07-2010		Disegnato: MB		Visto:		Prestato: Rg		Scala: 1 : 5	
GILARDONI		Disegnato: Tavoia 2 completamento I A		Visto:		Prestato: Rg		Scala: 1 : 5	
Modulo: Stampo:		Cod. M°		Cod. M°		Cod. M°		Cod. M°	
10416600		37068000		10416600		37068000		10416600	

FEP



Num. articolo	Num. parte	Quantità
1	10371900 Modulo acq.dat 25,4-07	8
2	10383600 Modulo acq.dat 25,4-07 Plus	1
3	20017840 Sk col. USB2 FEP 07	1
4	20017841 Sk col. servizi FEP 07	1
5	20017846 Sk col. TX barriera 8-16 h=38cm	1
6	36927800 Targhetta classe fotodiodi	1
7	52505089 Targhetta simbolo -Best slide-	1
8	VITE M3 x 8 UNI 5931	36
9	VITE M4 x 12 UNI 5931	2
10	VITE M5 x 12 UNI 5931	4
11	VITE M5 x 20 UNI 5931	4
12	Rosetta D3 (vite) UNI 6592	36
13	Rosetta D4 (vite) UNI 6592	12
14	Rosetta D5 (vite) UNI 6592	8
15	ROSETTA D3.2 (vite) DIN 6798	36
16	ROSETTA D4.3 (vite) DIN 6798	12
17	ROSETTA D5.3 (vite) DIN 6798	8
18	DADO M4 UNI 5588	18

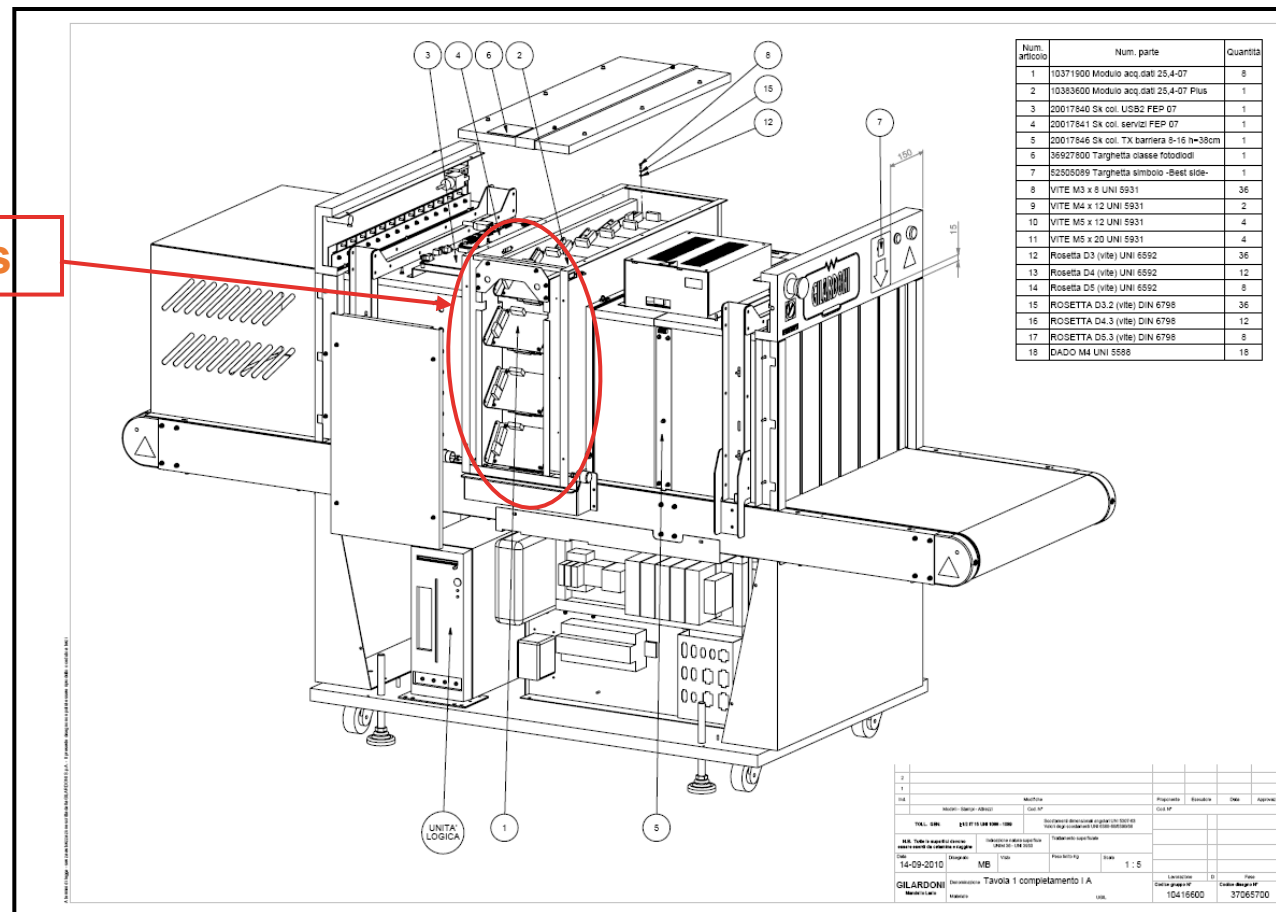
2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

X光機影像接收板/雙能量

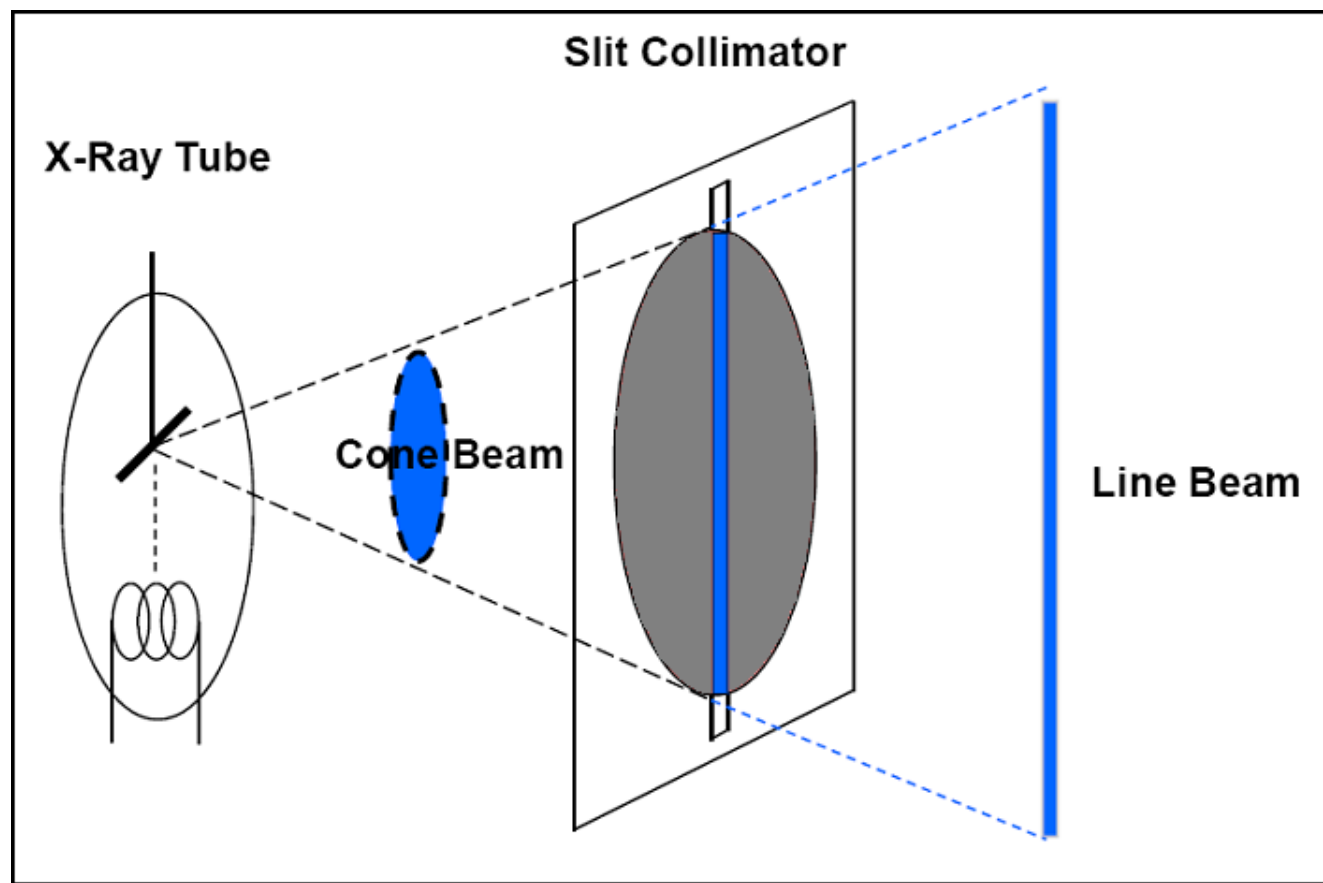
Data acquisition modules

1. Low Energy Arrays

2. High Energy Arrays



射束幾何關係

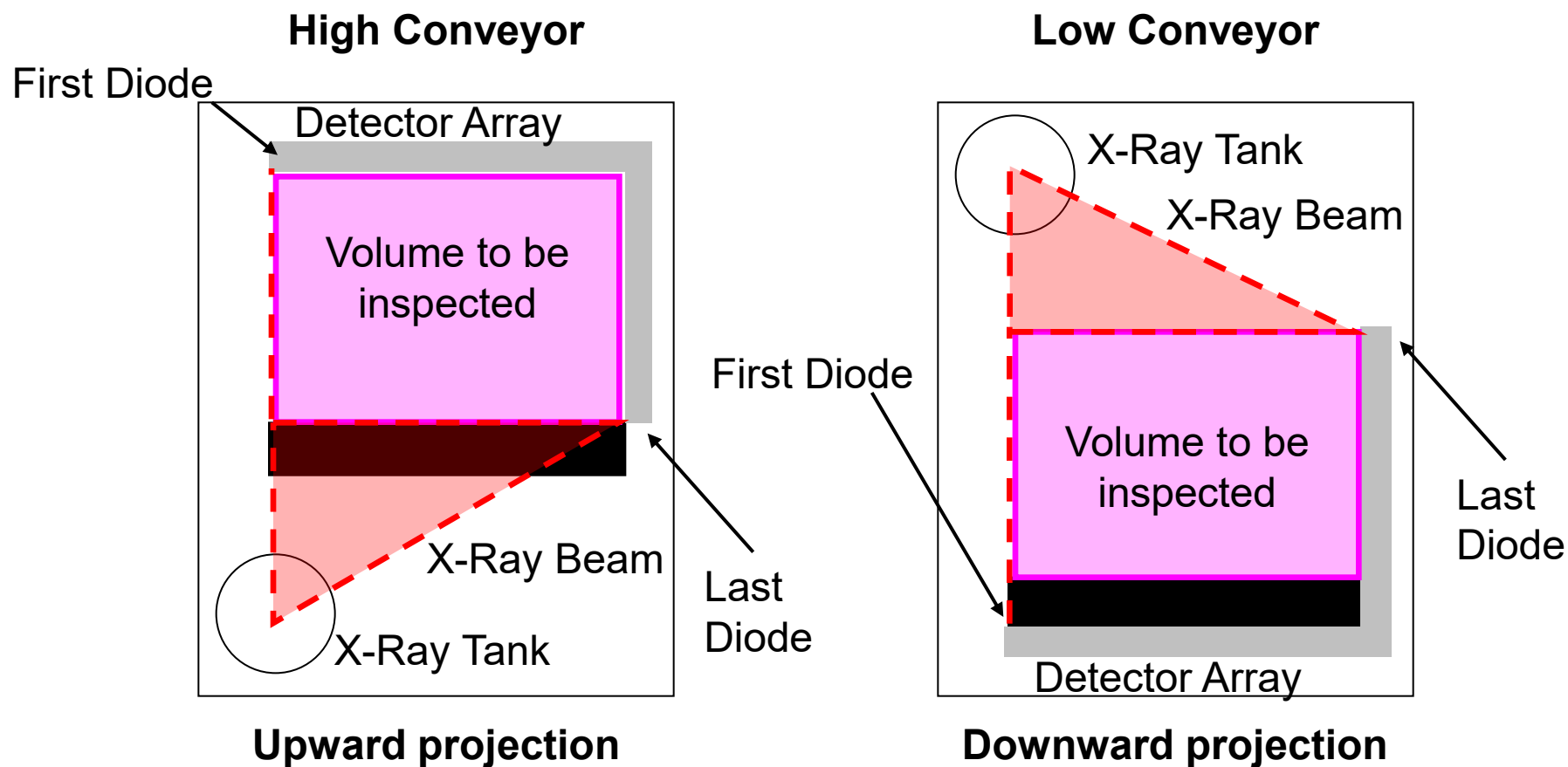


Beam collimation to obtain small point source

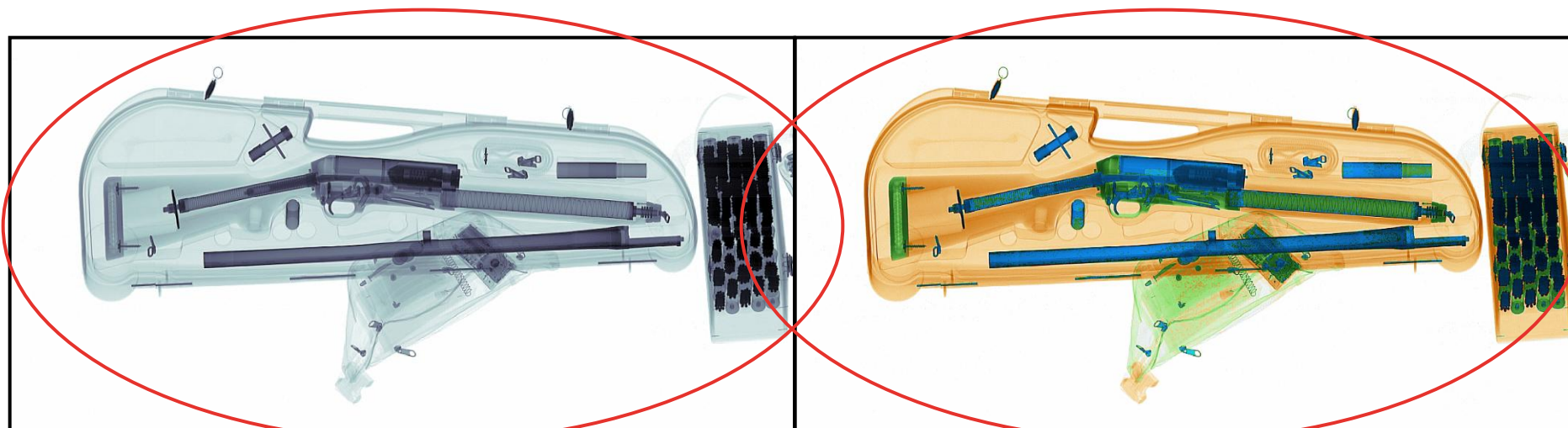


Sharp Image

射束幾何關係/高輸送帶/低輸送帶



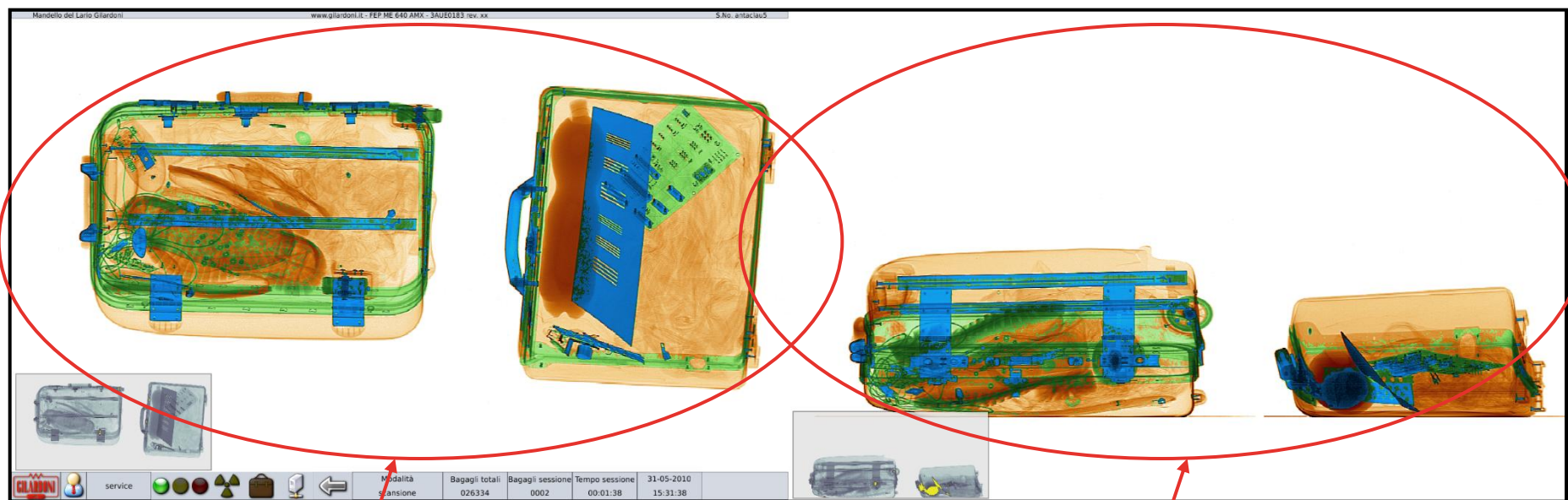
黑白影像/彩色影像



B/W Image: morphologic information

Color Image: functional information

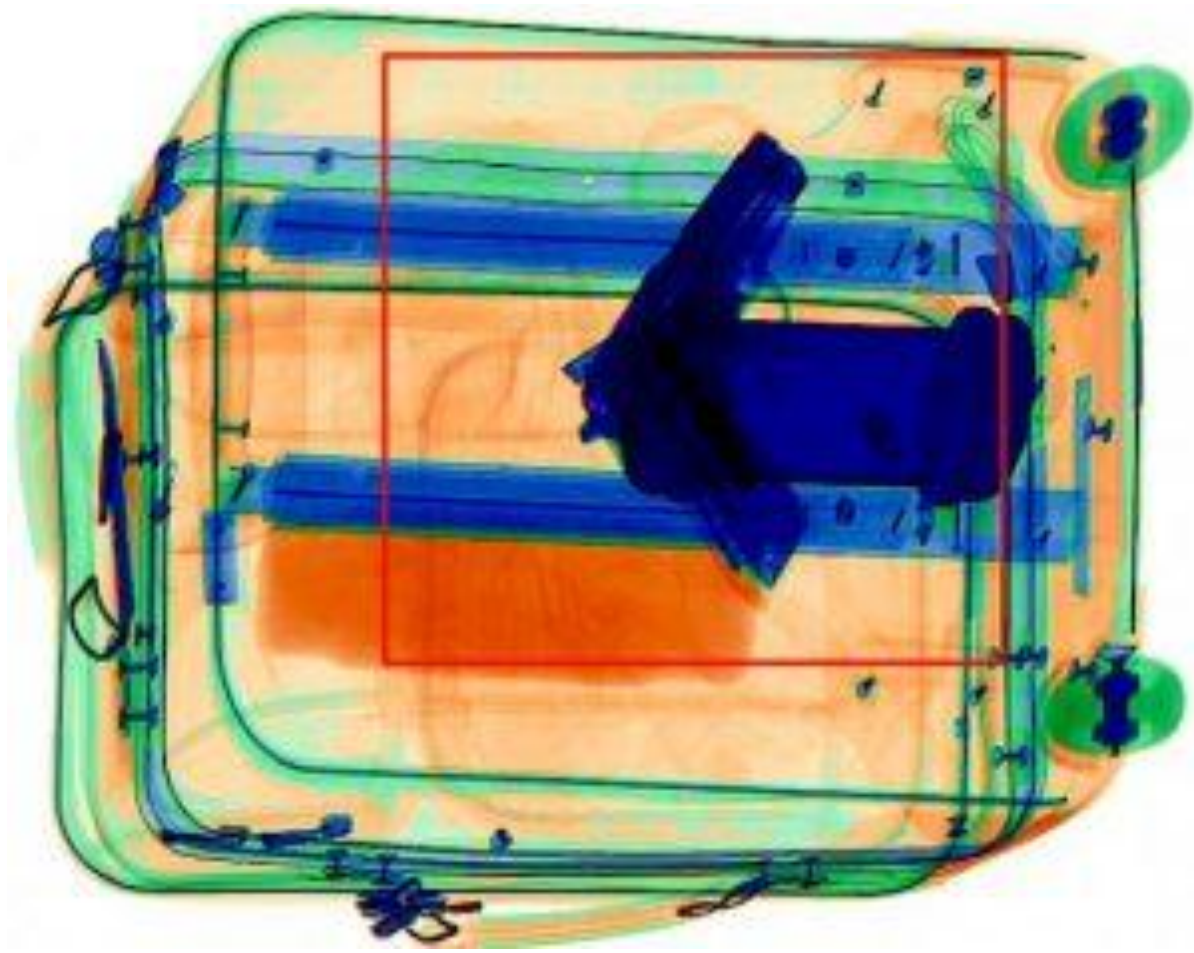
雙角度



Vertical image

Horizontal image

例:單射源影像斜角照射 (加拿大VOTI)



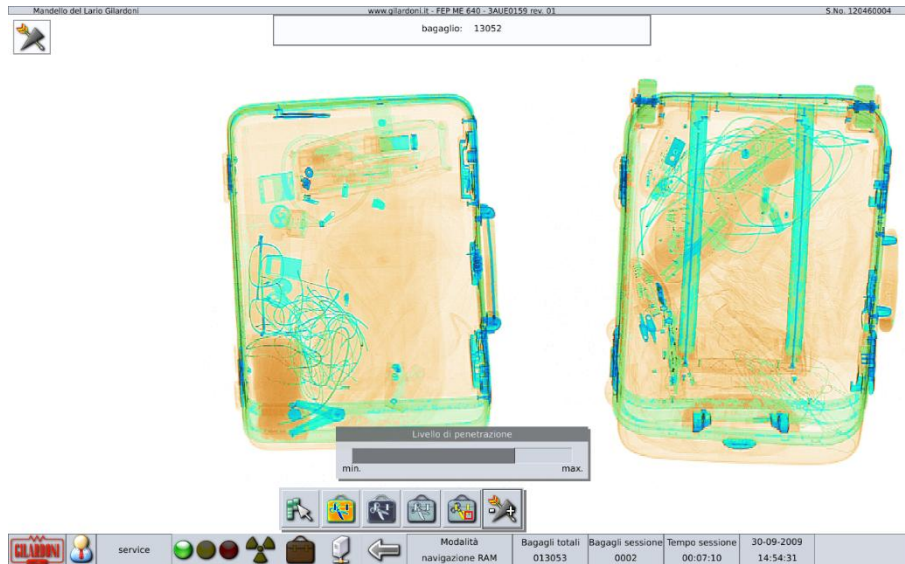
影像後處理

- Edge Enhancement: increase object contour
- Optimal Contrast: best combination of color level in the image



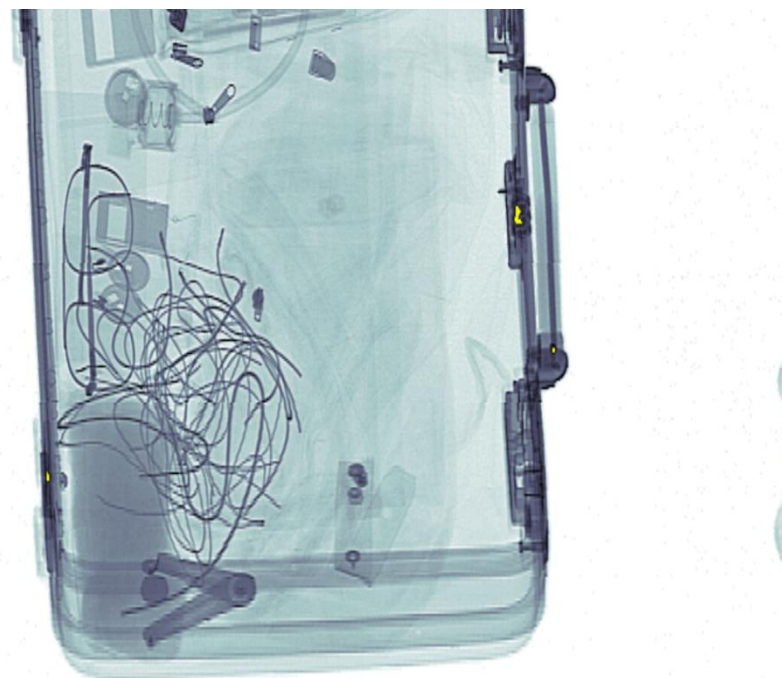
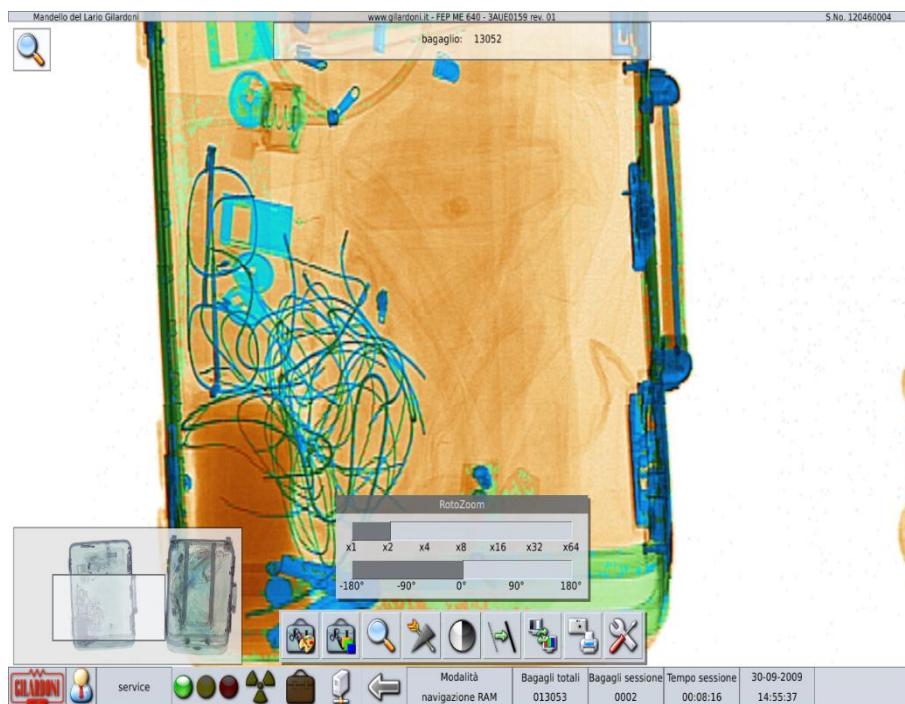
影像後處理

- High Penetration, Low Penetration and Variable Penetration
- Allow changing of the penetration level in the image to better appreciate high density material, low density material or mixtures



影像後處理

- Zoom: Step-by-step, continuous, roto-zoom up to x64



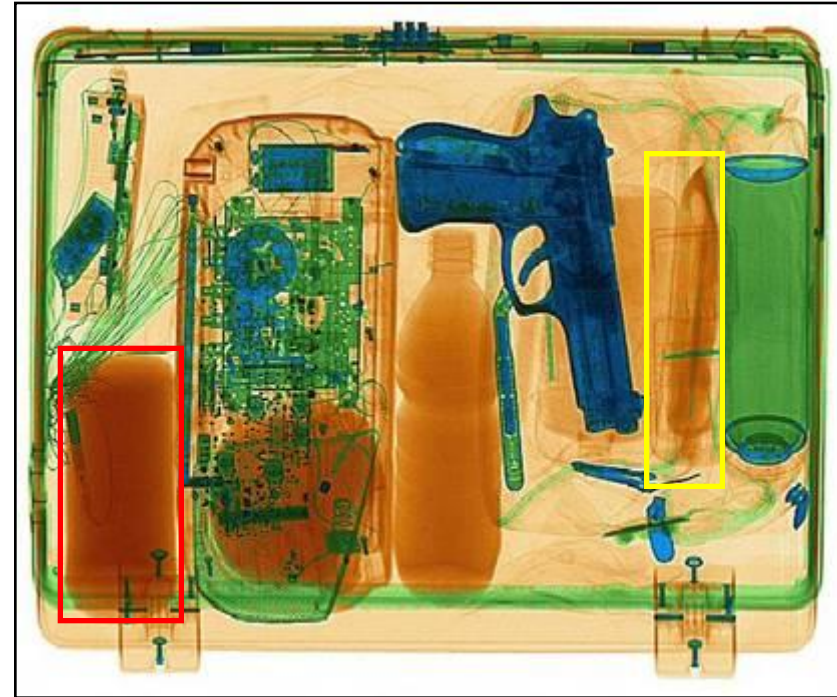
影像後處理

- Energy stripping: organic only – inorganic only – metallic only – combinations



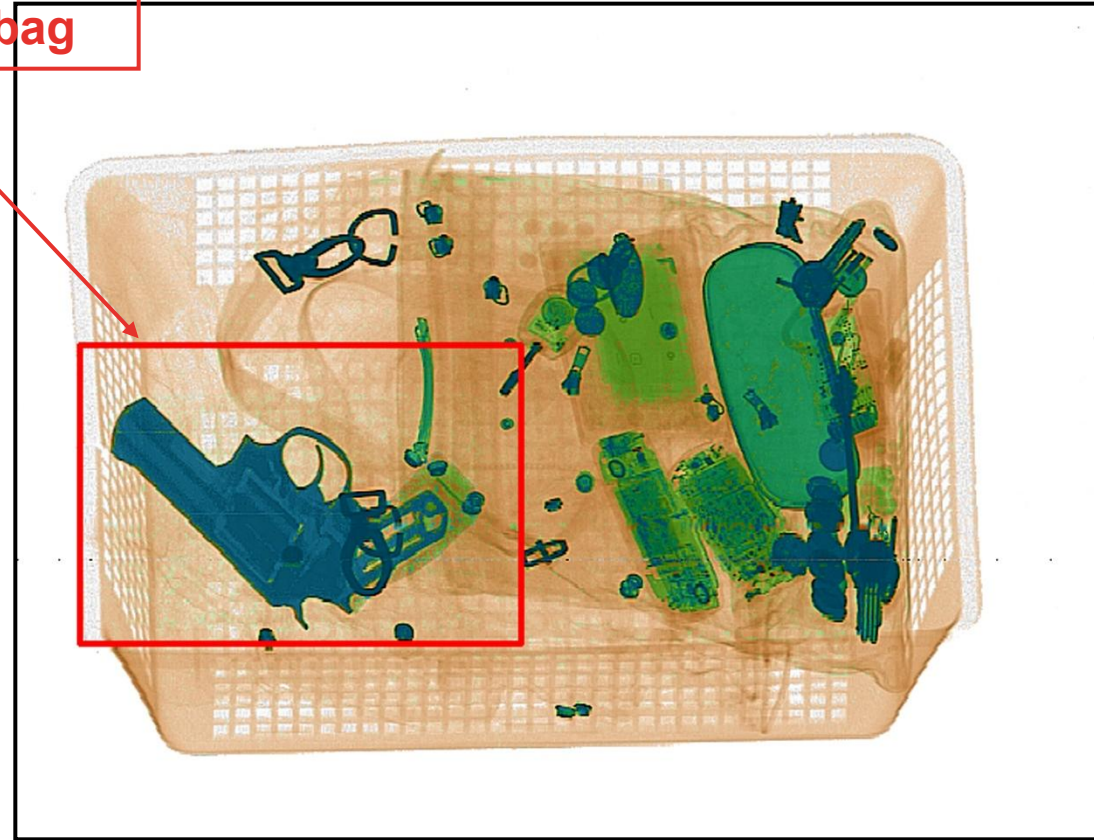
OPTIONAL SOFTWARE – ADS

- Advanced Detection Software:
 - Explosive Detection Support (Red Square);
 - Narcotic Detection Support (Yellow Square).



OPTIONAL SOFTWARE – TIP

**Fictional Threat
Image in a real bag**



OPTIONAL SOFTWARE – TIP

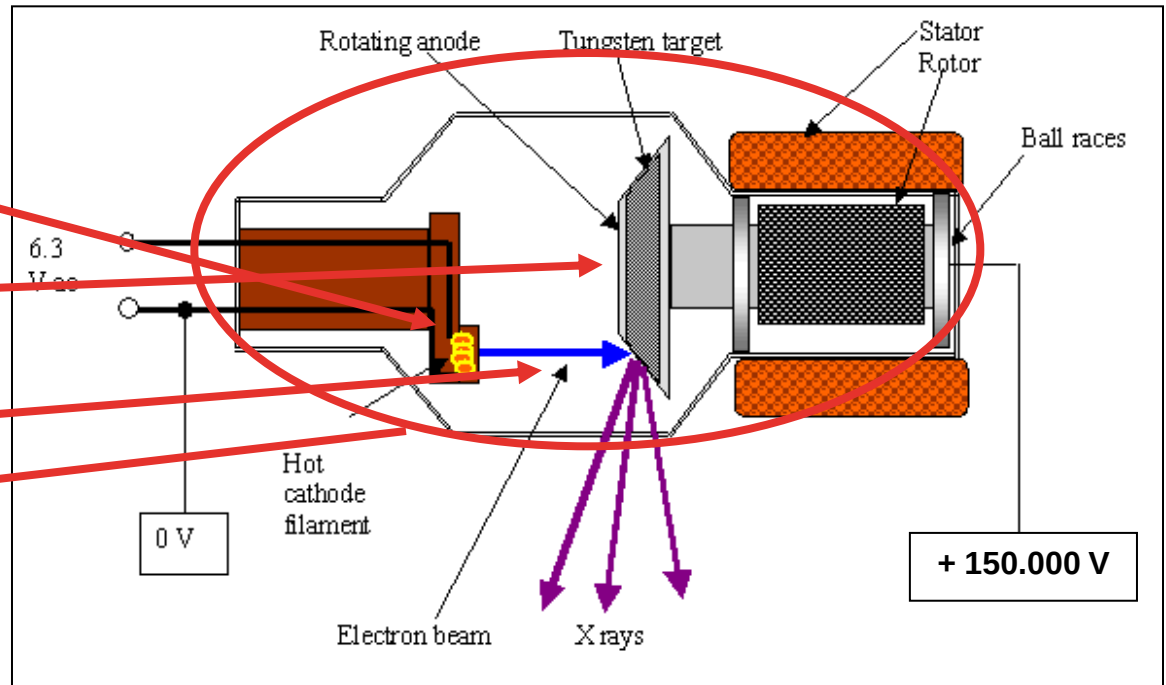
- Improve the detection capability in the checkpoint;
- Avoid opening of 10% bags (EU Regulation 300/2008);
- Raise the operators' Attention Threshold.

附錄：行李X光機簡介



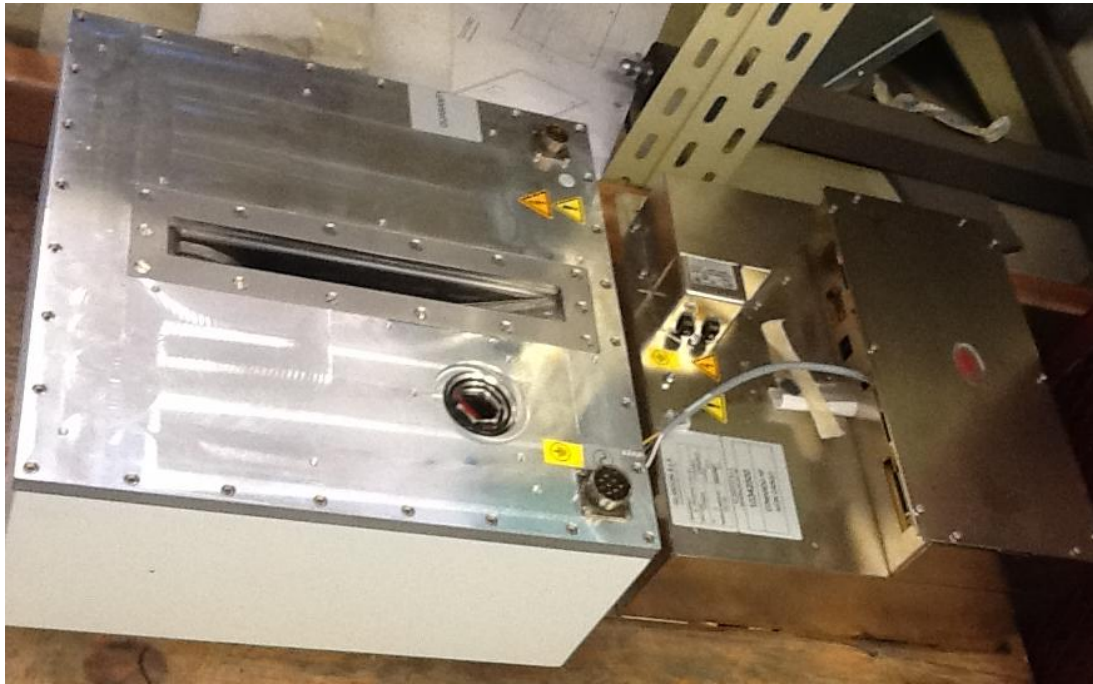
X光管

- Hot filament (cathode)
- Tungsten target (anode)
- Electron Beam
- Vacuum

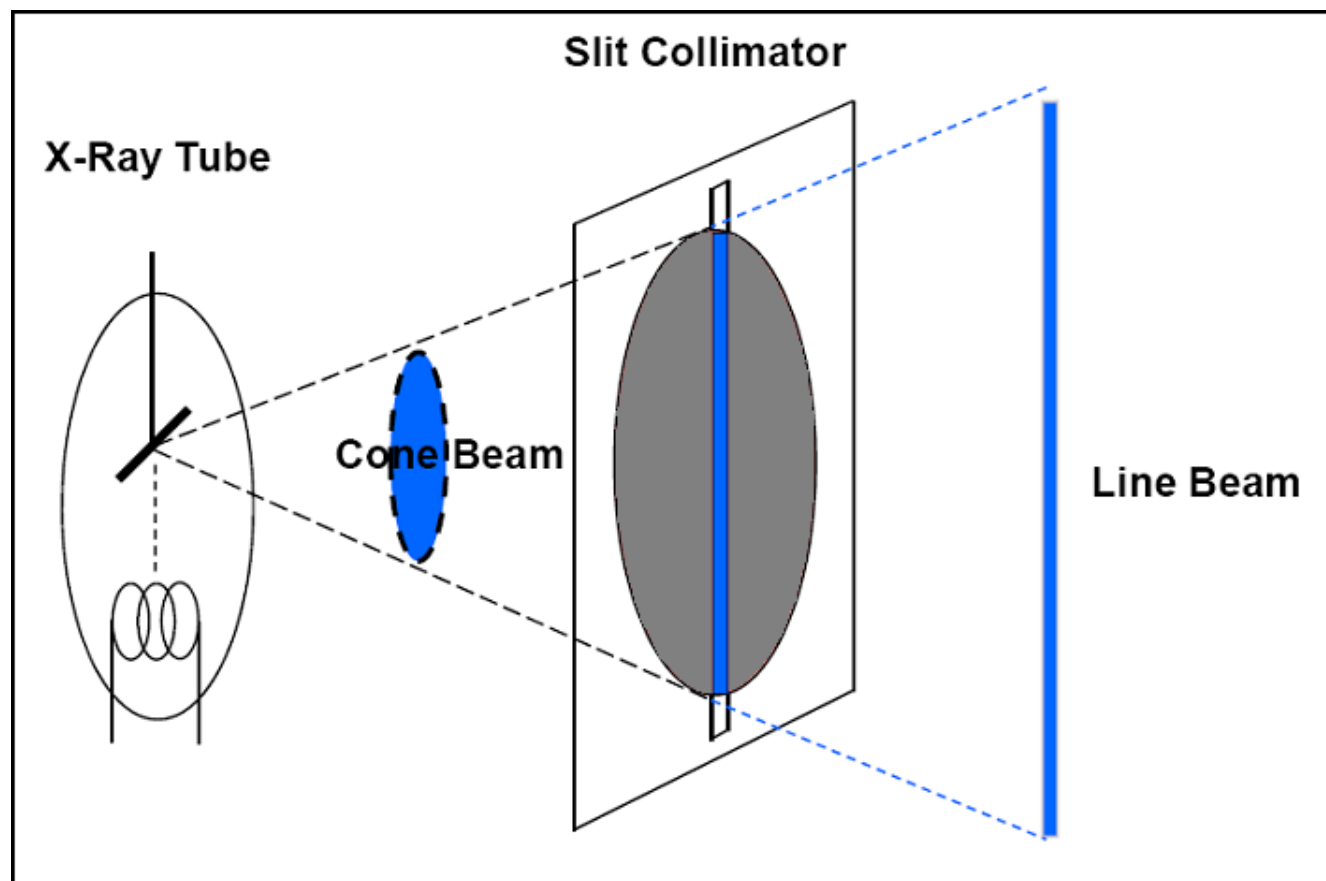


X-ray production

X光管產品-已含管套



線形射束的幾何關係



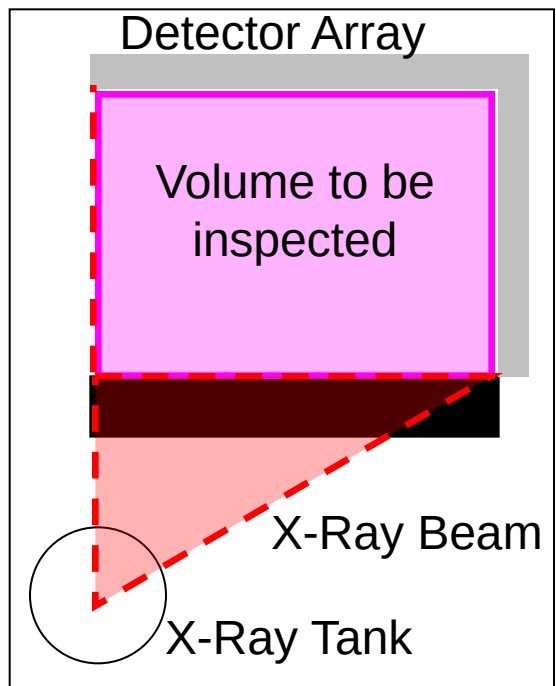
射束限制可濾除散射輻射如同小焦點特色



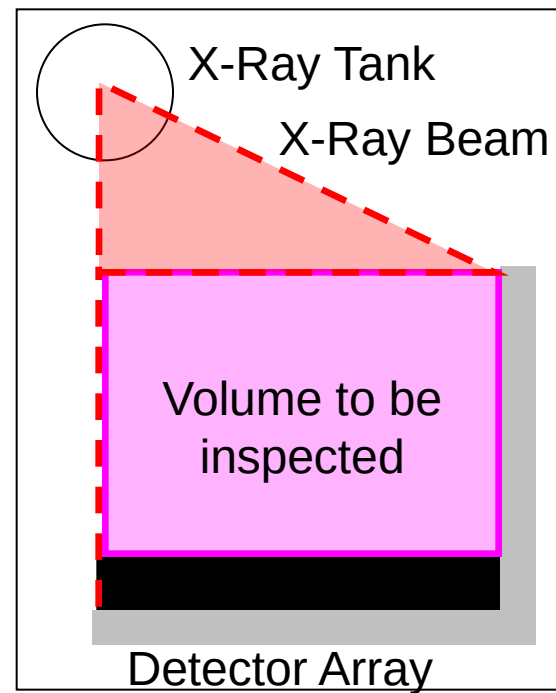
影像較銳化

偵測器位置

高輸送帶



低輸送帶

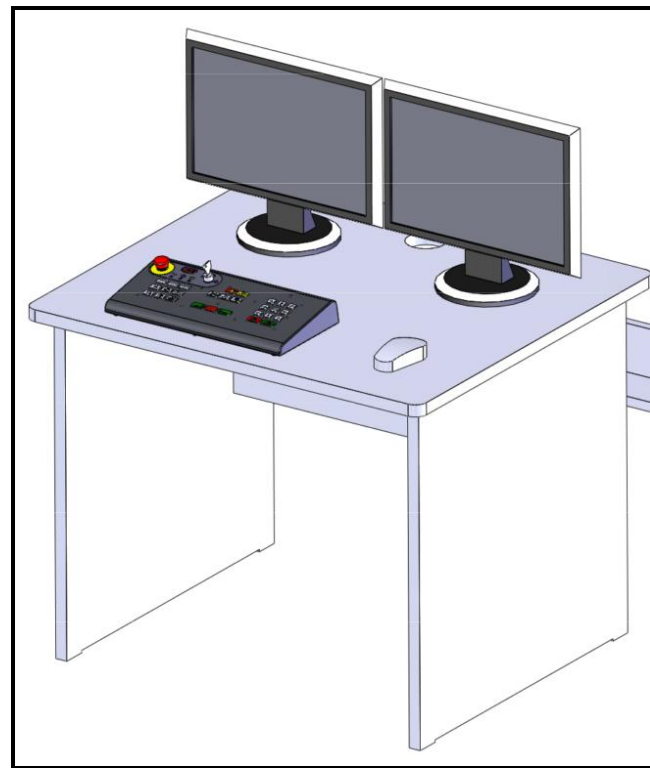
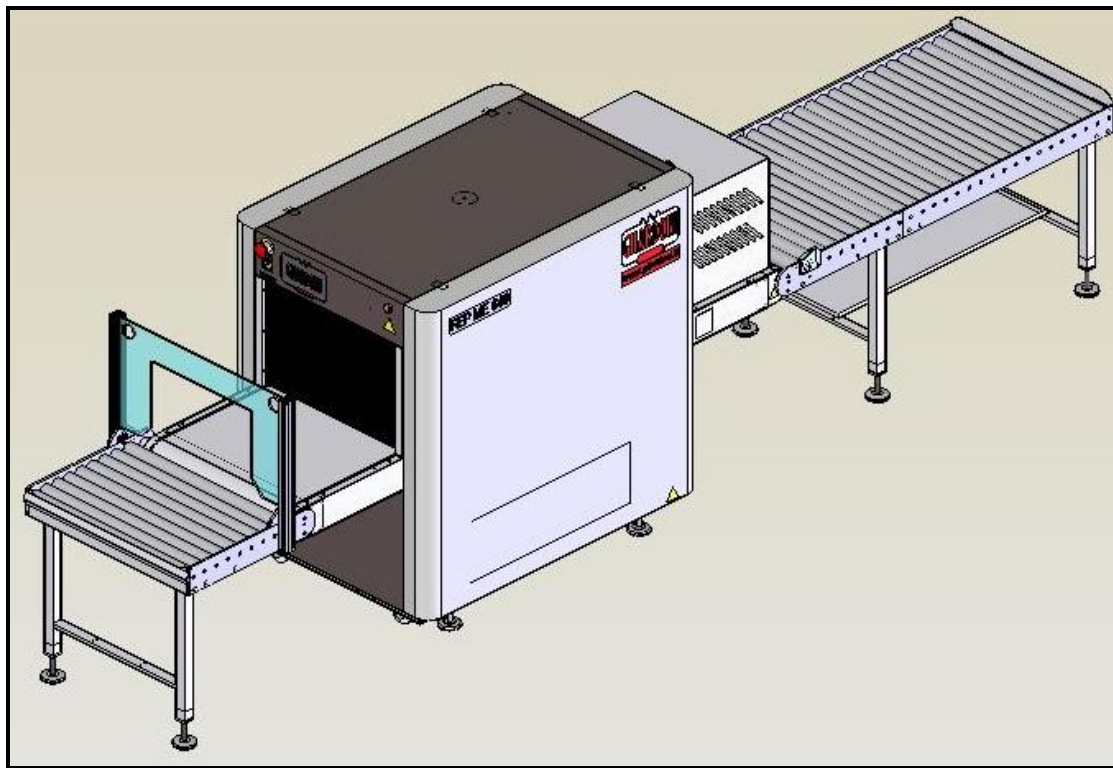


各式行李檢查X光機

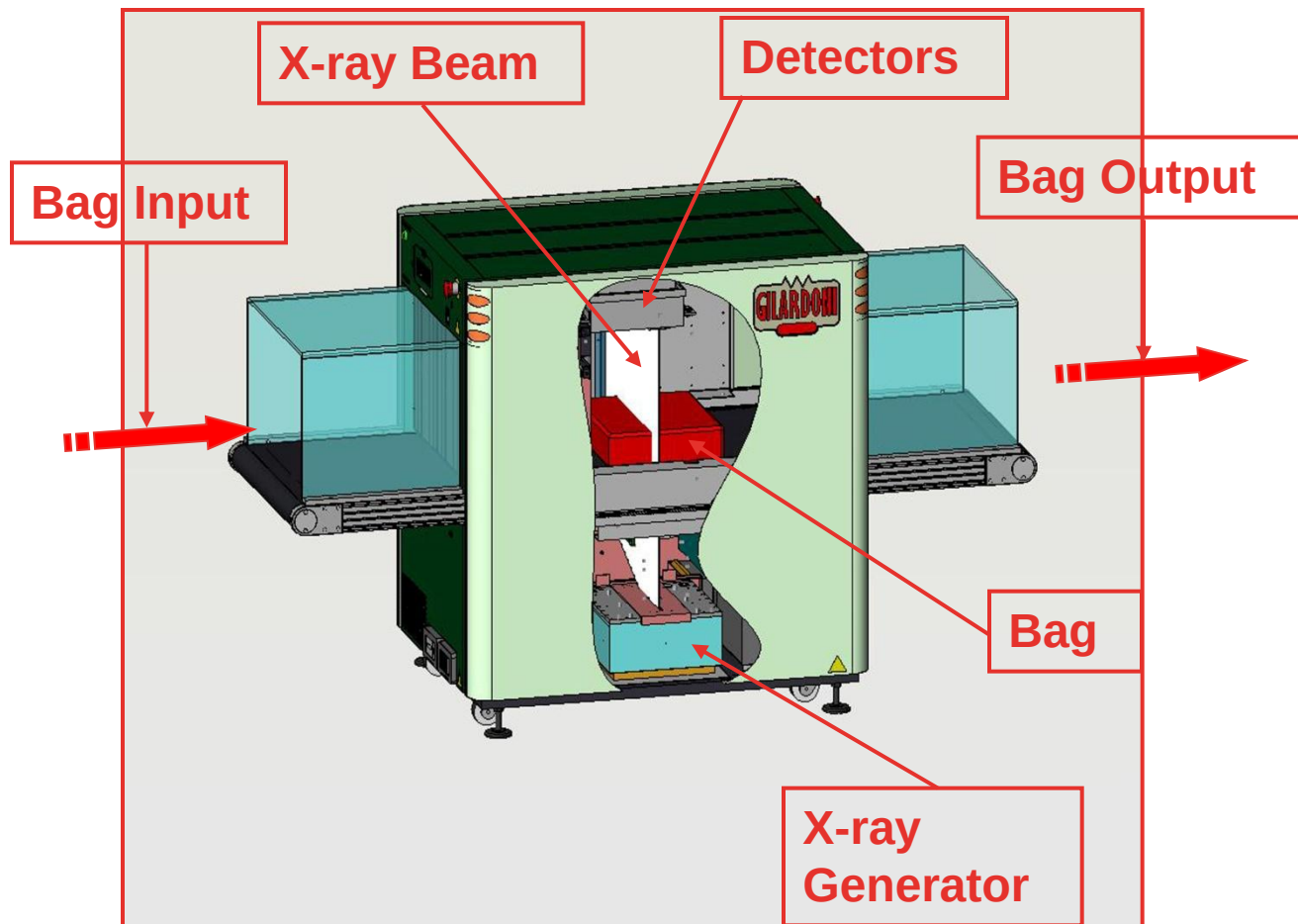


行李檢查X光機基本配置

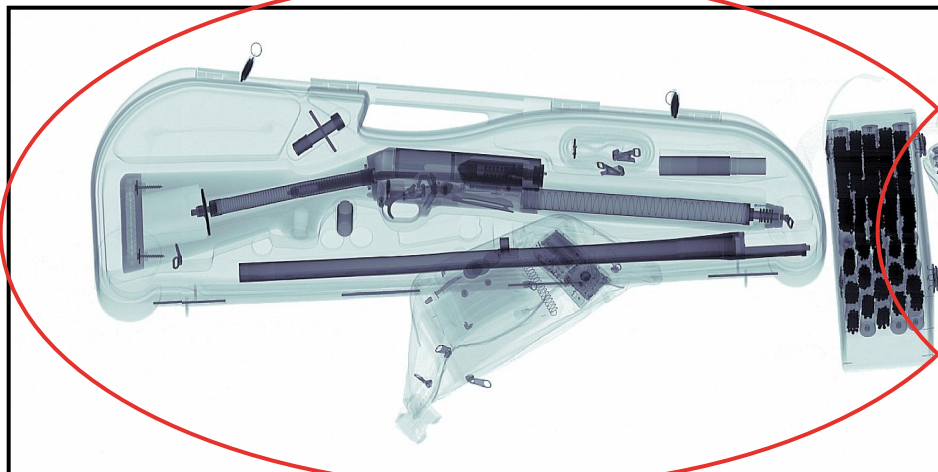
典型的系統配置



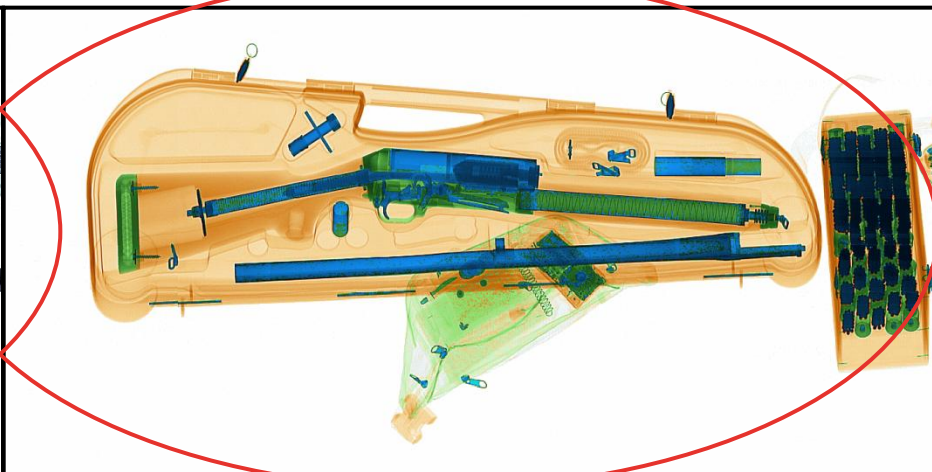
行李檢查 X 光機構造



影像功能

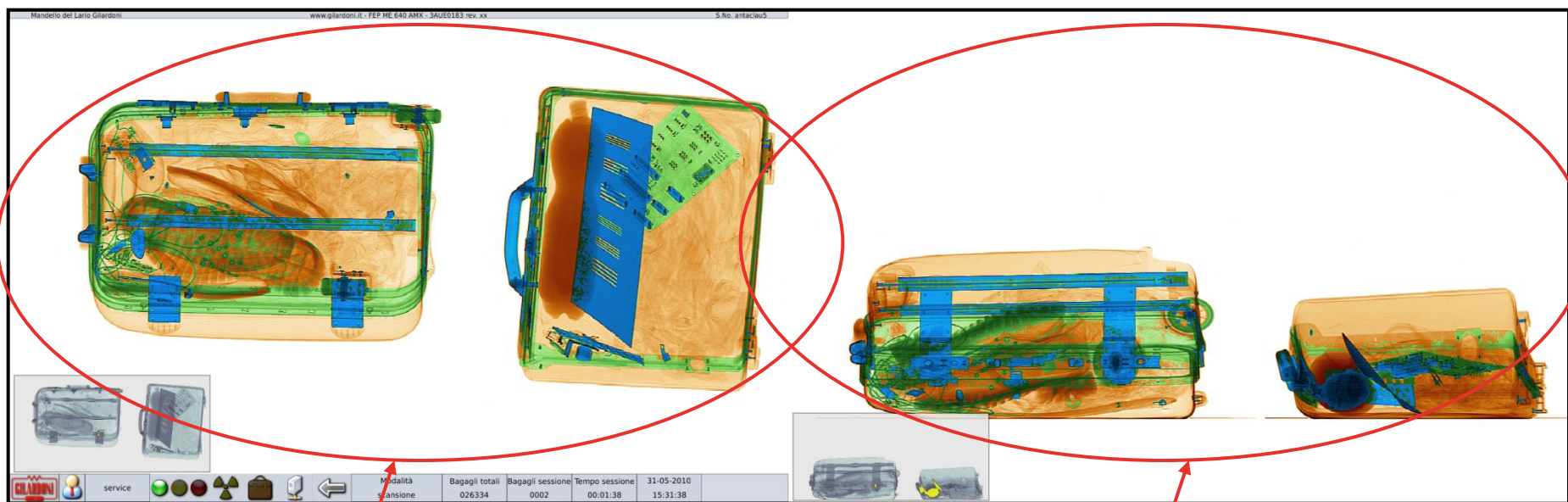


B/W Image: 強調型態資訊



Color Image: 強調功能資訊

雙射源雙角度行李檢查X光機



垂直影像

水平影像

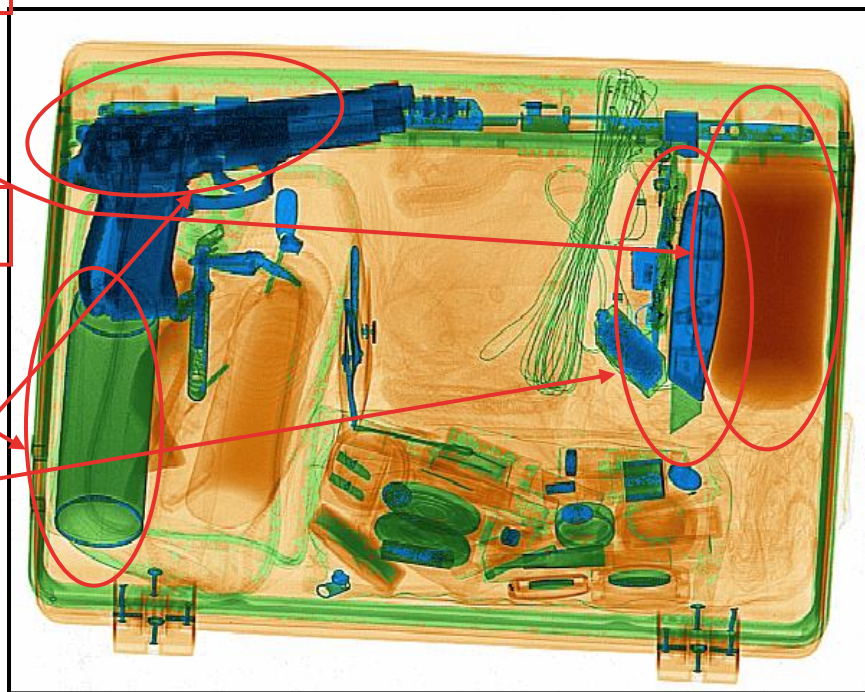
色彩影像

1. 橘色: 有機物質

2. 綠色: 無機物質

3. 藍色: 金屬物質

4. 黑色: 無法穿透材質



($Z < 10$)

($10 < Z < 20$)

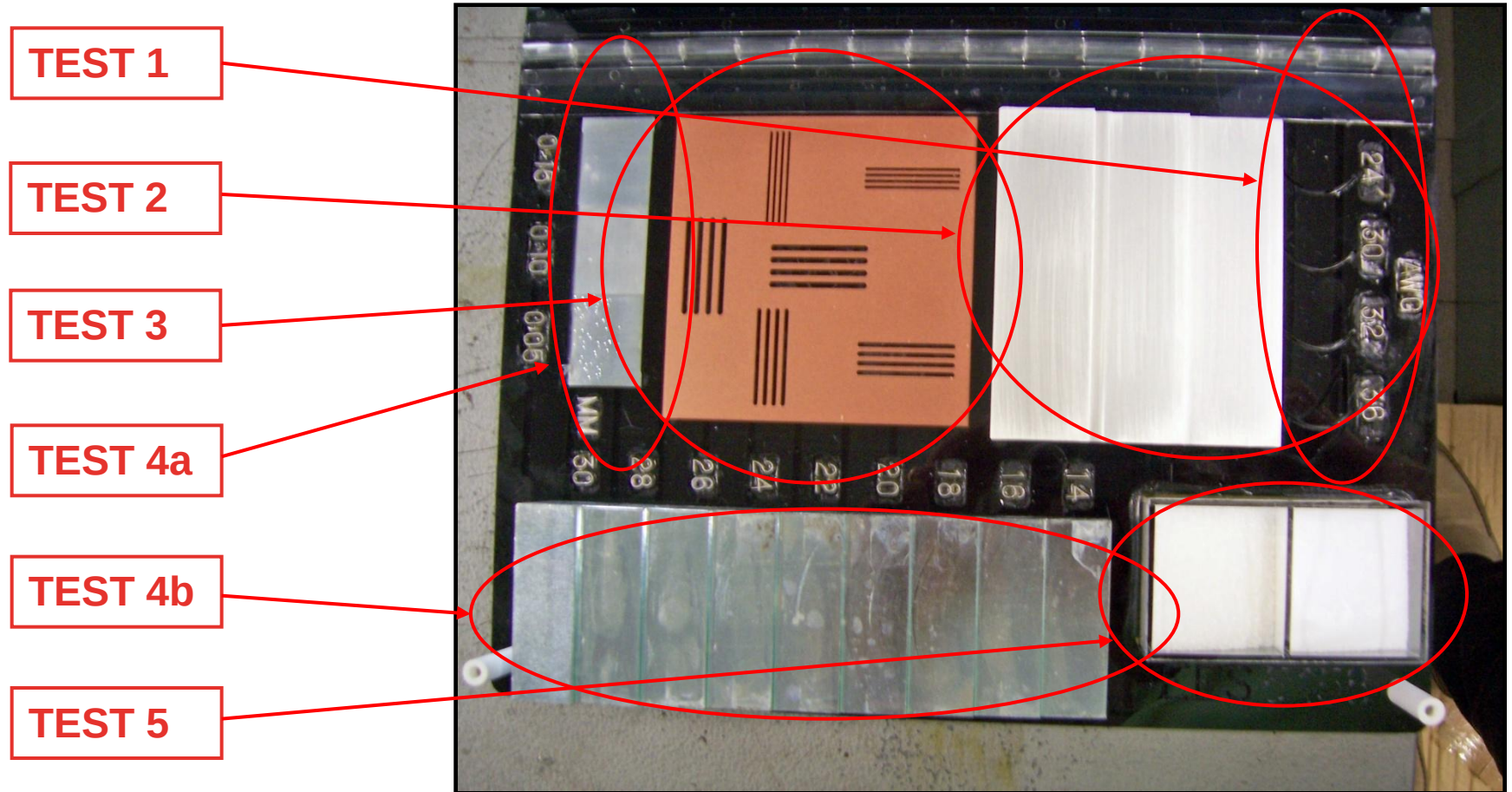
($Z > 20$)

($\text{mm Steel} > 30$)

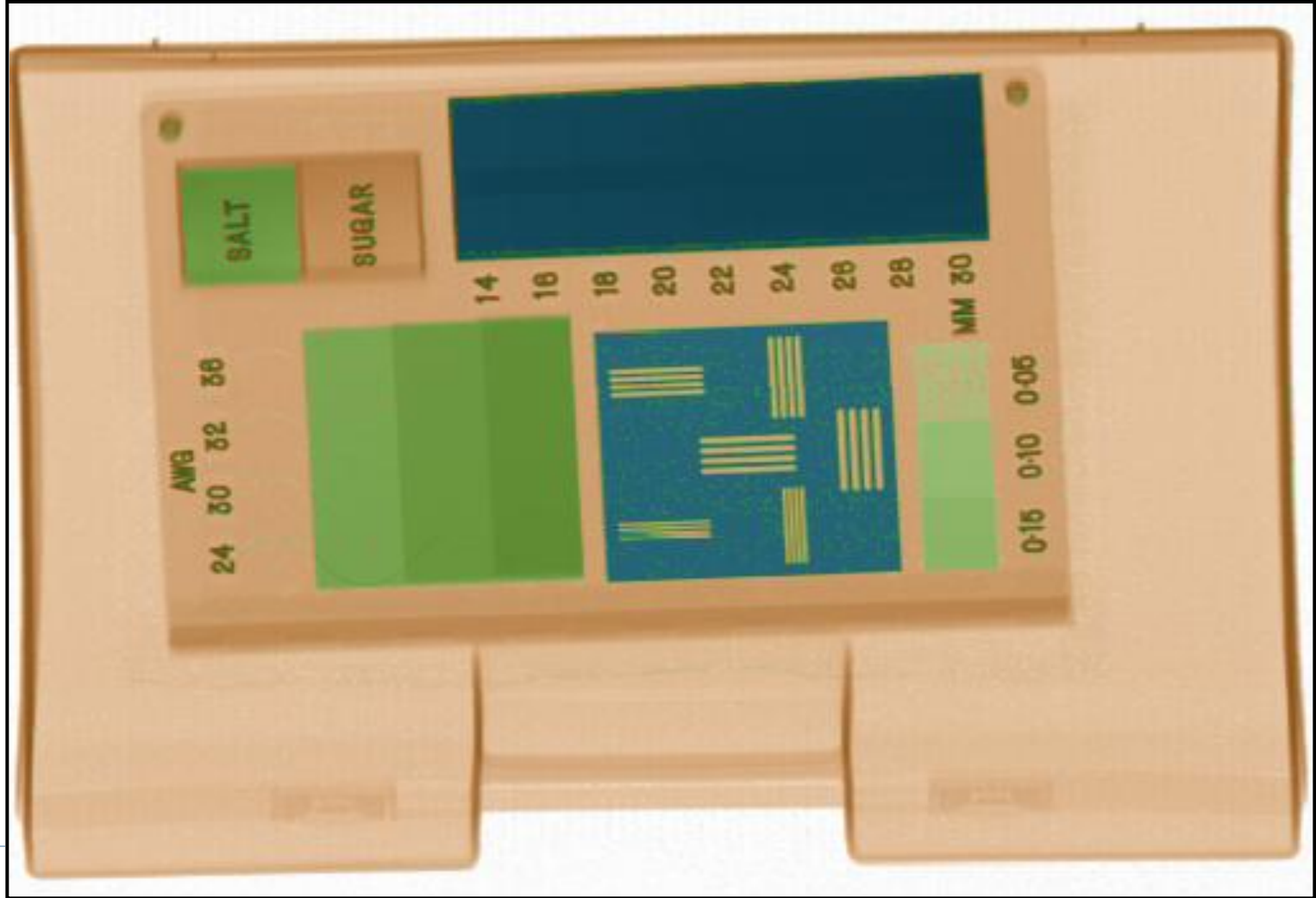
影像品質測試方法

- ▶ STP (Standard Test Piece):
 - ▶ 使用五個標準測試物件：依據歐盟指令781/2005號，影像品質控制
- ▶ 測試物包含五種物件：
 - ▶ 銅線，包含各種不同厚度；
 - ▶ 銅濾片，呈梯度排列有不同層次；
 - ▶ 不同厚度不鏽鋼板；
 - ▶ 不同厚度之鉛板；
 - ▶ 糖與塩各乙種。

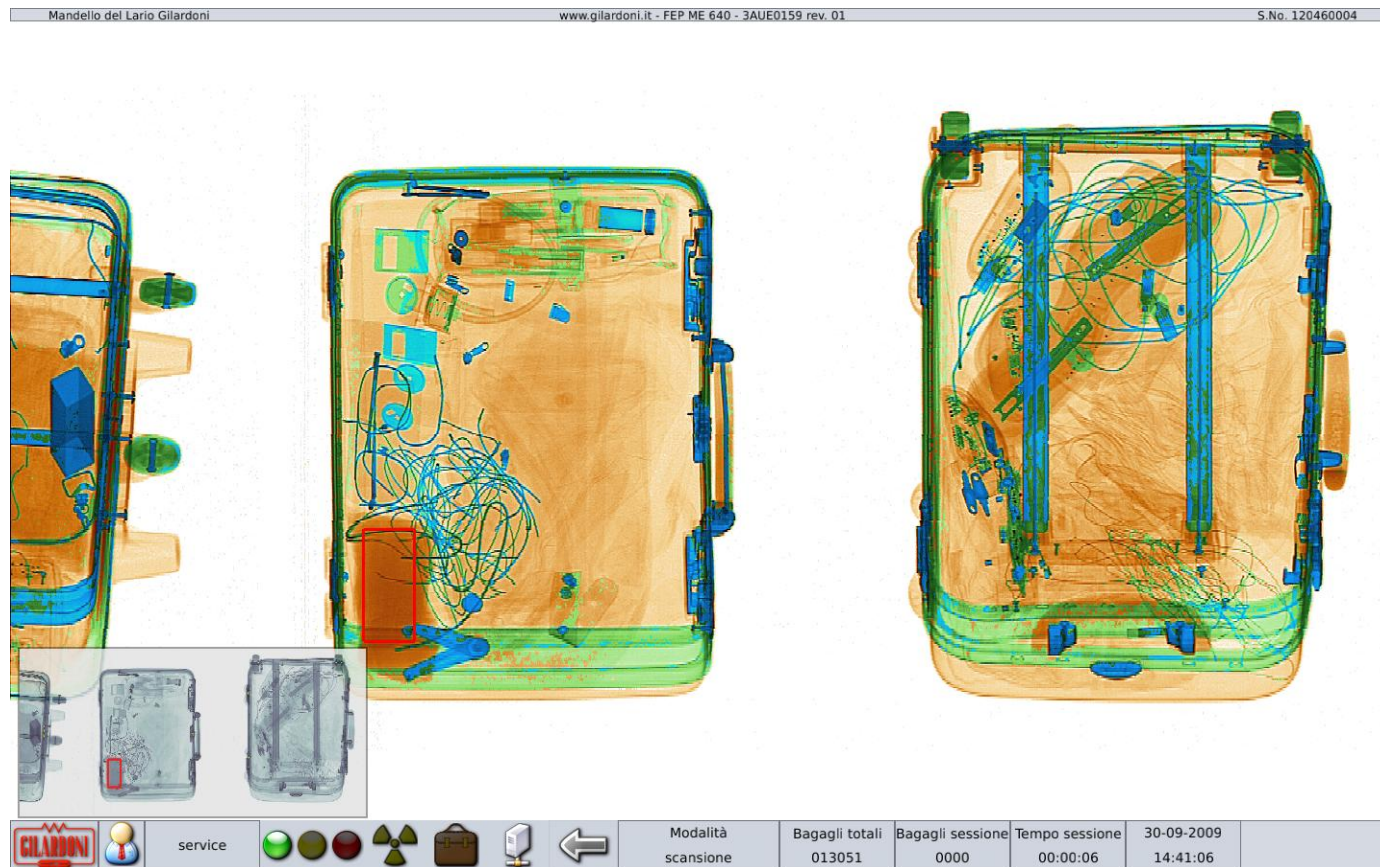
STP TEST



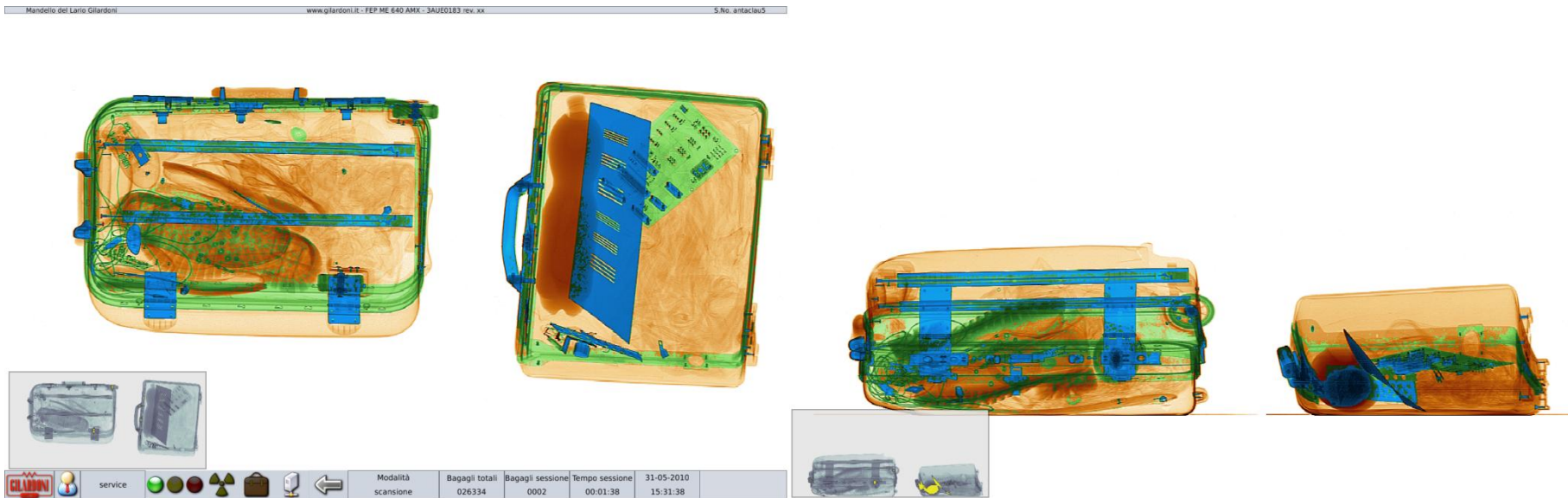
STP TEST



單螢幕模式



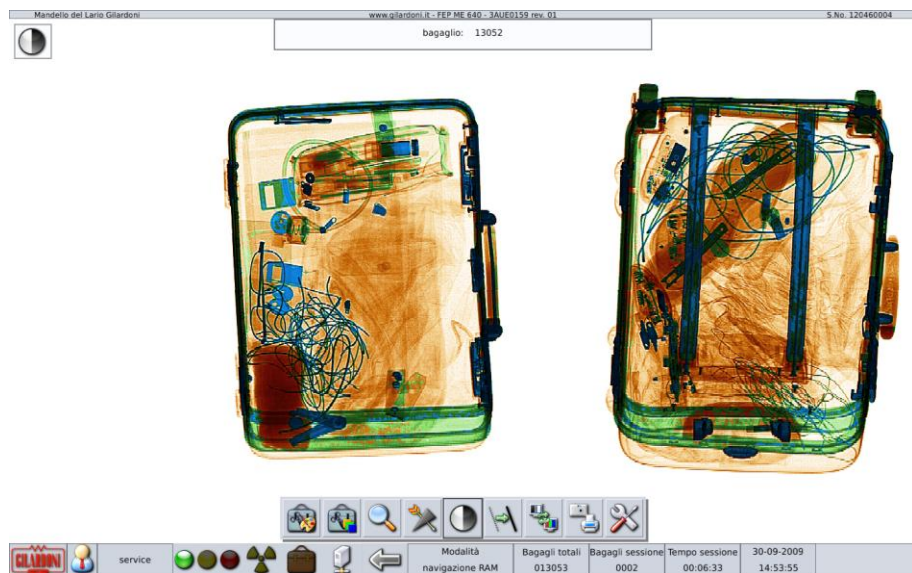
雙螢幕模式



Multiview System

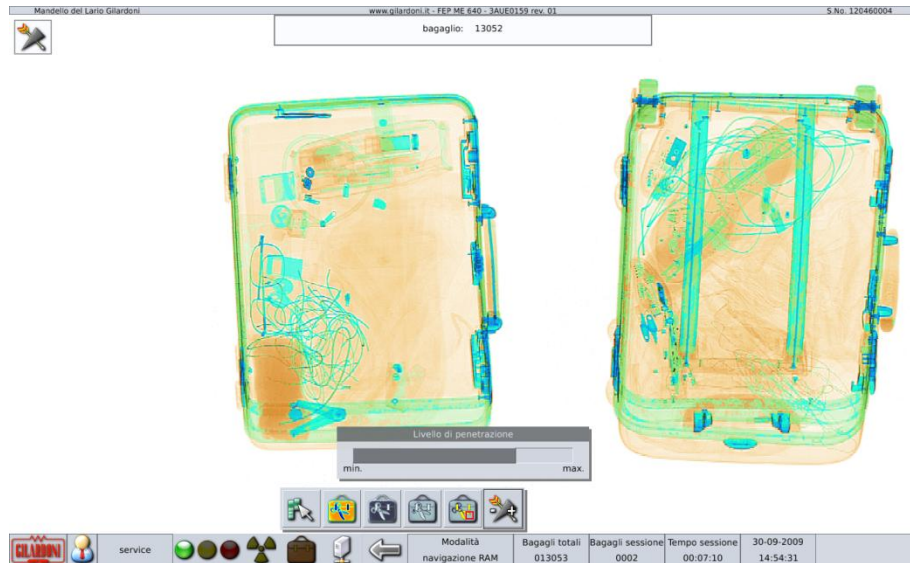
影像後處理

- ▶ **Edge Enhancement:** 邊緣強化，可強化行李輪廓。
- ▶ **Optimal Contrast:** 最佳對比化，可強調混合行李的影像層次最佳對比



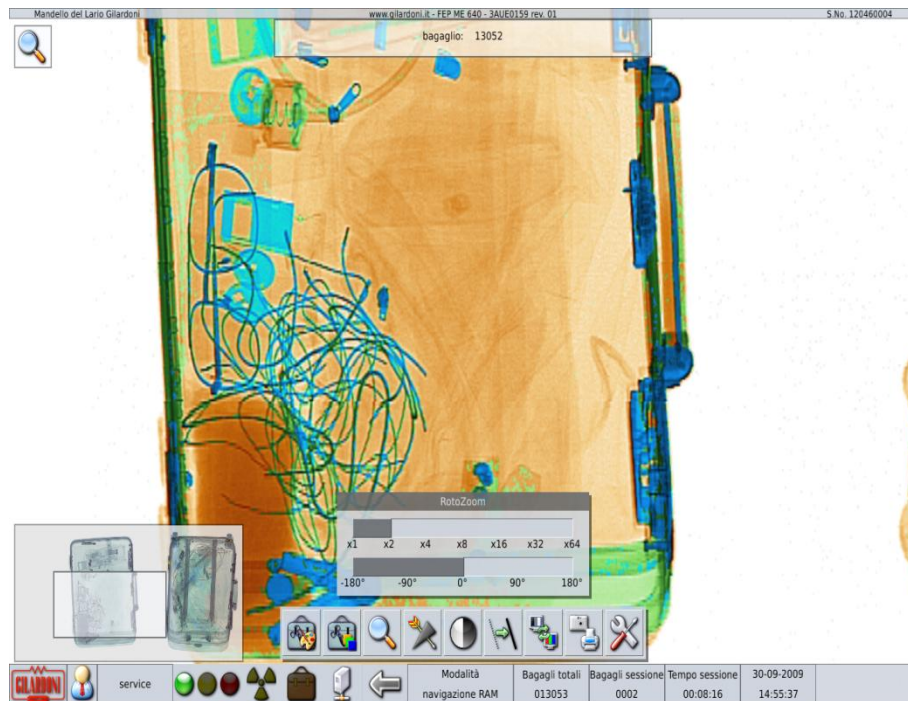
影像後處理

- ▶ 高穿透比，低穿透力，以及可調整穿透力
- ▶ 允許調整對行李穿透力，以判斷對各種密度對比的最佳化。



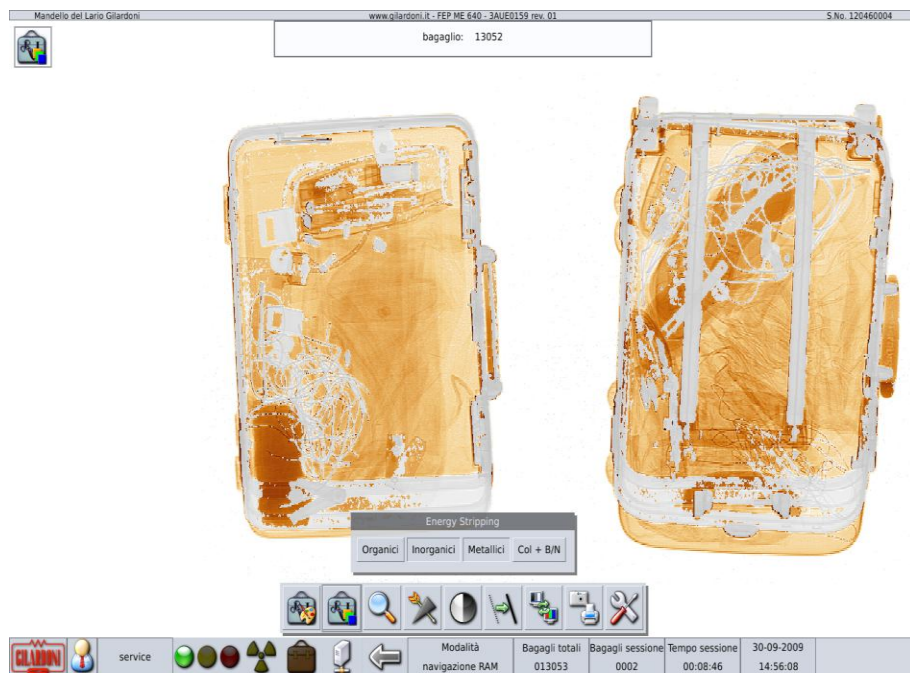
影像後處理

- **Zoom:** 逐步放大,連續放大,最多放大至**64**倍



影像後處理

- ▶ **Energy stripping:** 有機材質可見 – 無機材質可見 – 金屬材質可見 – 混合物調整可見



檔案管理能力

- ▶ 系統可自動儲存所有已檢查影像以及原始資料(RAW data)

