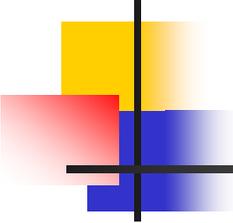


核電廠存廢現況分析

姚學華

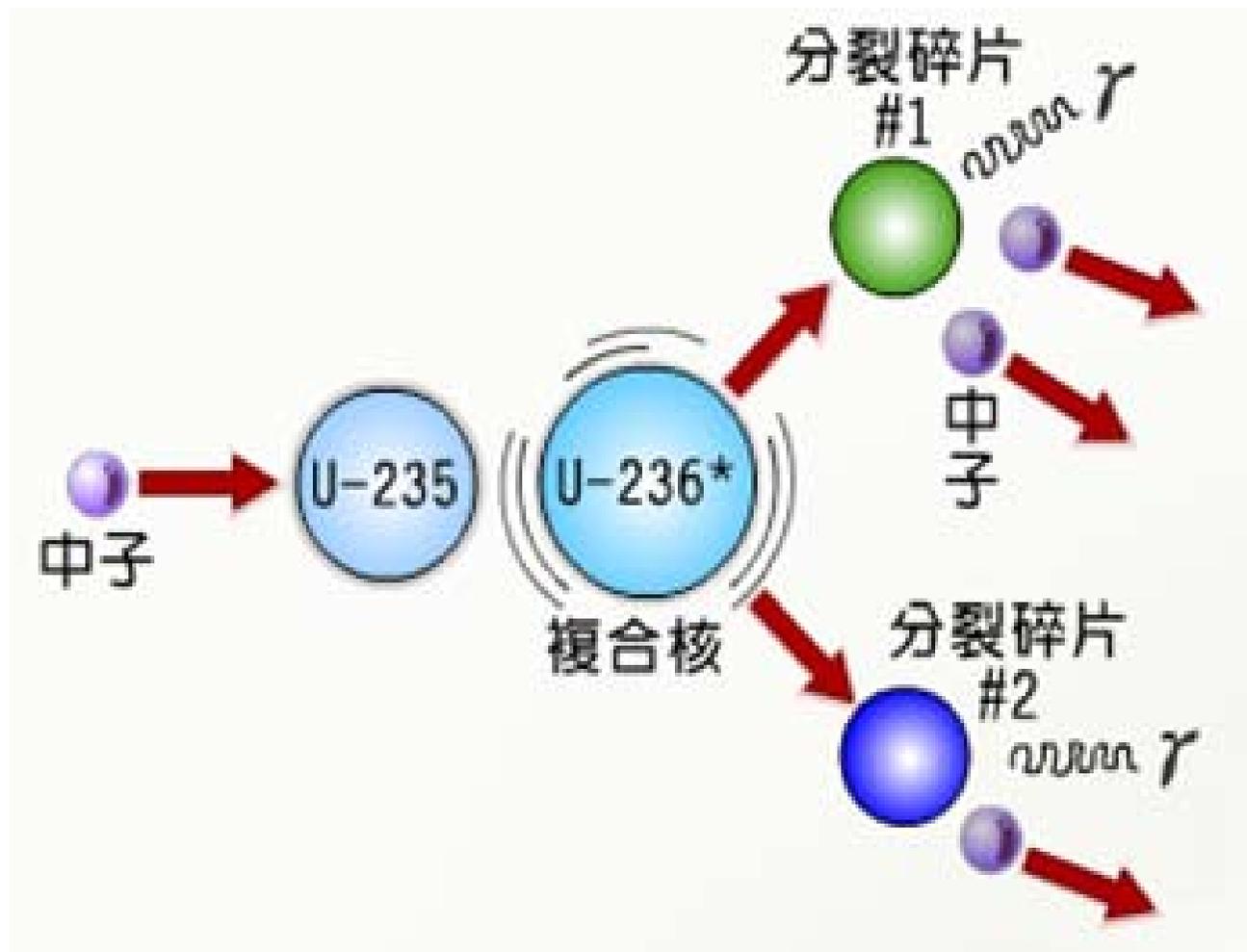
28 Mar 2014

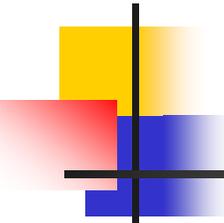


前言

- 日本核爆
- 核電廠輻射外洩案例
- 核電廠種類與安全設計
- 核子事故相關法規
- 核電廠存廢分析

中子誘發核分裂示意圖





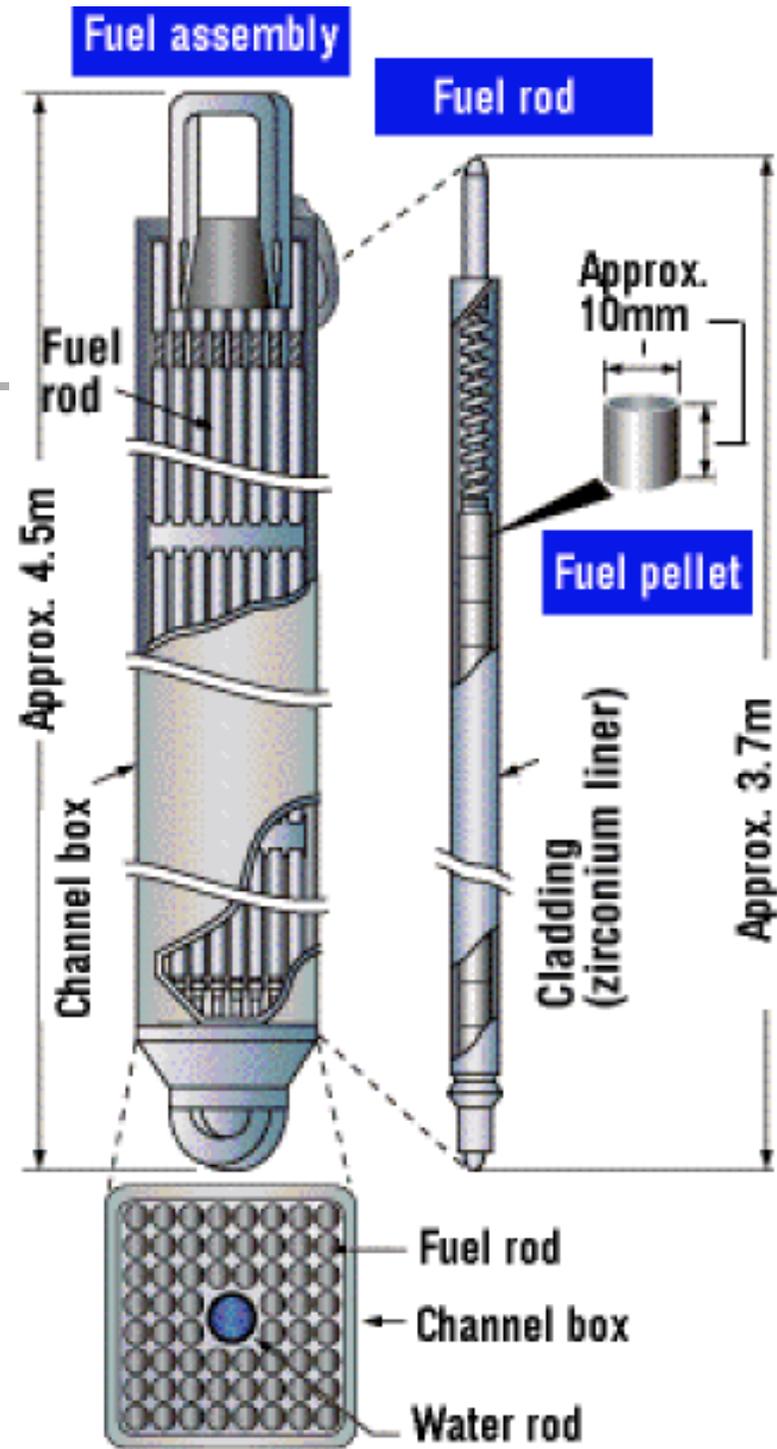
中子連鎖反應

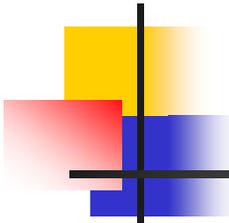
- 每一次的核分裂約產生2.5個中子，而2.5個中子之中，最少有一個中子被另一個可分裂原子核捕獲才可能引發第二次分裂。
- 如果每次分裂最少引發另一次分裂，則可自行持續分裂反應，稱為**連鎖反應**。
- 當核燃料量漸增，則中子逃逸比例漸小，直到一個足夠維持連鎖反應的量時，此系統即稱為**臨界**。

核燃料

- 燃料丸
- 燃料棒
- 燃料束
- 燃料匣

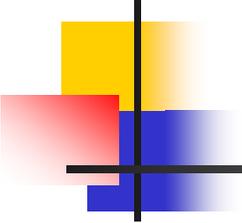
核電廠燃料裝填後可持續運轉18~24個月，再裝填新燃料





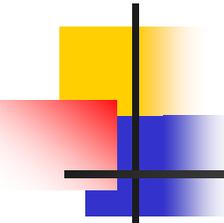
分裂所釋出的能量

項目	分裂能量分布
分裂產物之動能	$165 \pm 5 \text{ MeV}$
瞬發加馬之能量	$7 \pm 1 \text{ MeV}$
分裂中子之動能	$5 \pm 0.5 \text{ MeV}$
β^- 粒子(分裂產物 β 衰變)	$7 \pm 1.5 \text{ MeV}$
微中子(分裂產物 β 衰變)	$10 \pm 5 \text{ MeV}$
延遲加馬(分裂產物 γ 衰變)	$6 \pm 1 \text{ MeV}$
總能量	200 MeV



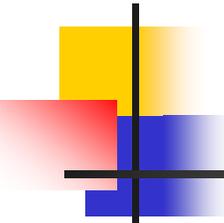
分裂產物

- 分裂產物元素**超過80種**
 - 約**460種**不同的同位素(含衰變子核)
- 較重要的分裂產物
 - Xe-135及Sm-149具有極大中子捕獲截面積，稱為中子毒素(會阻礙反應器的起動)
 - **I-131、Cs-134、Cs-137及Sr-90**有相當大的分裂產率，對輻射環境有重要影響



廣島(Hiroshima)核彈歷史I

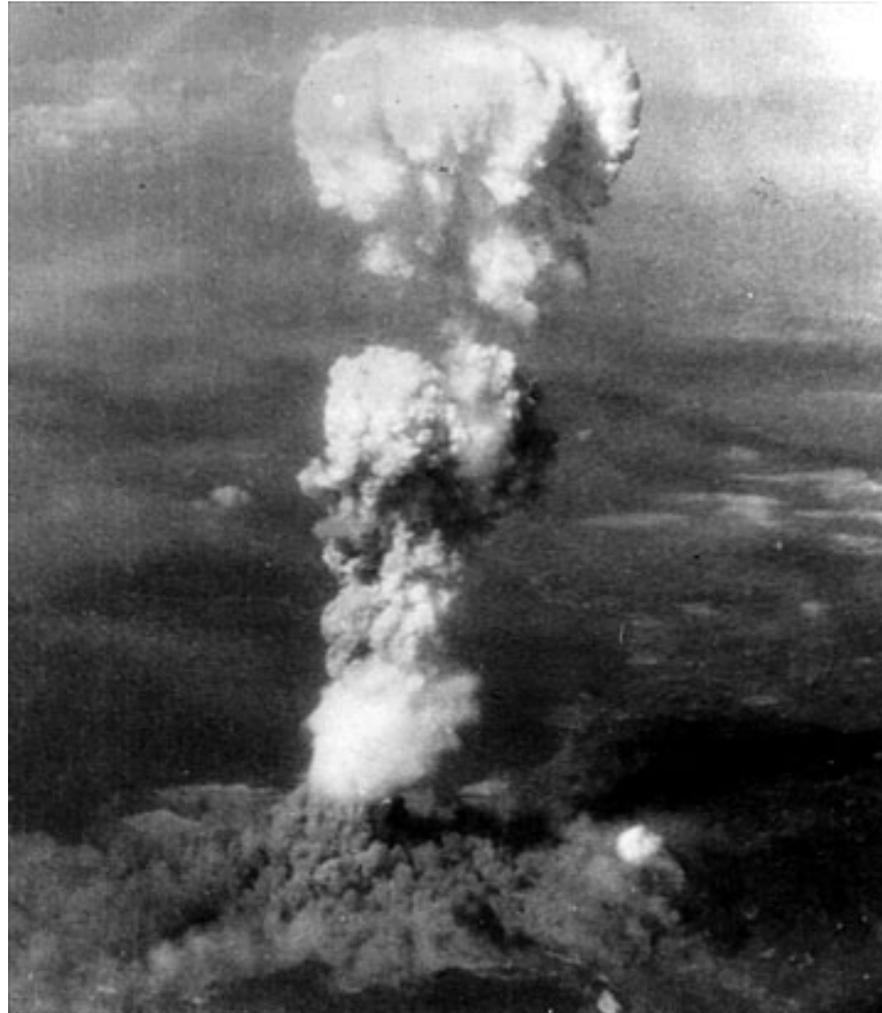
- 1945年(民國34年)8月2日，美軍**關島**第20航空軍司令部發出極密指令：天寧島的第509混成部隊執行任務。
- 攻擊日：**8月6日**
攻擊目標：**廣島市**心及工業區
備選第2目標：**小倉市**
備選第3目標：**長崎市**
- 8月6日1時45分，搭載核彈的艾諾拉·蓋伊(Enola Gay)號飛機緩緩滑出跑道。



廣島核彈歷史II

- 1時47分，記錄核彈威力的科學觀測機起飛。1時49分，拍攝核彈爆炸瞬間的**攝影觀測機**也起飛。
- 從天寧島飛往目標廣島市，需要約6個多小時。
- 6時30分，作戰指揮官、助手、投彈手進入彈倉，拔出核彈安全插銷後，回報「作業完成」。總指揮官向機內人員說：「諸位，機上搭載的武器是**史上第一顆核彈**。」這時機上人員才知道機上的武器是核彈。
- 8時15分17秒，核彈投下，43秒後，於地表上空600米處爆炸。

廣島的蕈狀雲
1945年8月6日8:16



廣島投彈團隊



艾諾拉·蓋伊號與投彈團隊



廣島核彈(Little boy, ^{235}U)



Diameter:

71.1 cm

Length:

3.0 m

Weight:

4,400 kg

Yield:

15 kt

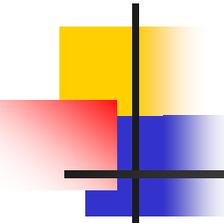


爆炸後3小時的火風暴



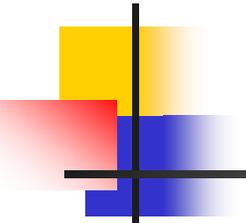
爆心1.5公里內木造房子 完全因火災與爆震全毀





長崎(Nagasaki)核彈歷史I

- 廣島遭受到核攻擊後，日本政府仍然拒絕同意波茨坦(Potsdam)宣言(註：美、英、中三國在戰勝德國後一起致力於戰勝日本以及履行開羅宣言等對戰後對日本的處理方式的決定)。
- 8月6日晚上宣布第二次的核攻擊作戰計劃，首要目標小倉市，次要目標長崎市。
- 8月9日9時44分到達炸彈空投目標—小倉市陸軍軍營上空。

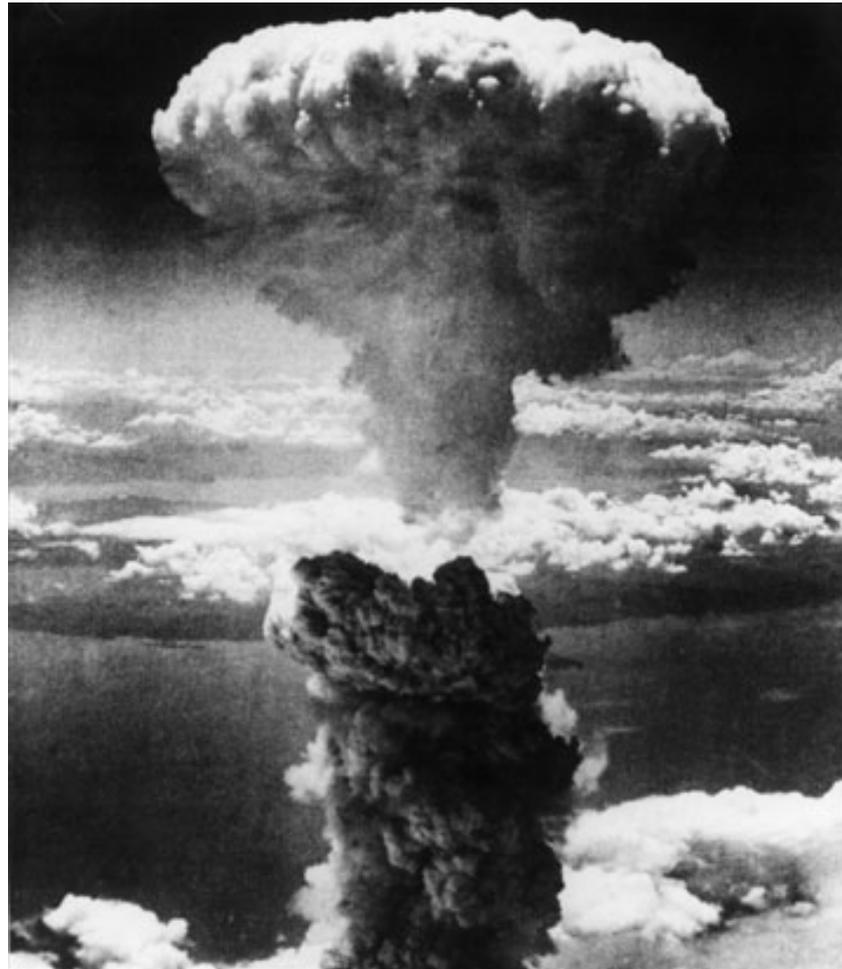


長崎核彈歷史II

- 高空轟炸人員因**天候**無從循目視確認目標位置，經試圖利用較短的路徑再次尋找機會，仍耗用**45**分鐘共失敗了三次。
- 機體燃料所剩無幾，小倉市的天氣轉壞，日軍的高砲激烈對空攻擊，日軍緊急派出了十架戰機應戰。**10時30分**將目標轉向次要目標長崎市。
- **11時2分**，在距離**長崎市**中心三千公尺外**503公尺**的高空爆炸。

長崎的蕈狀雲

1945年8月9日 11:02



長崎投彈團隊



長崎核彈(Fat man, ^{239}Pu)



Diameter:

1.5 m

Length:

3.25 m

Weight:

4,656 kg

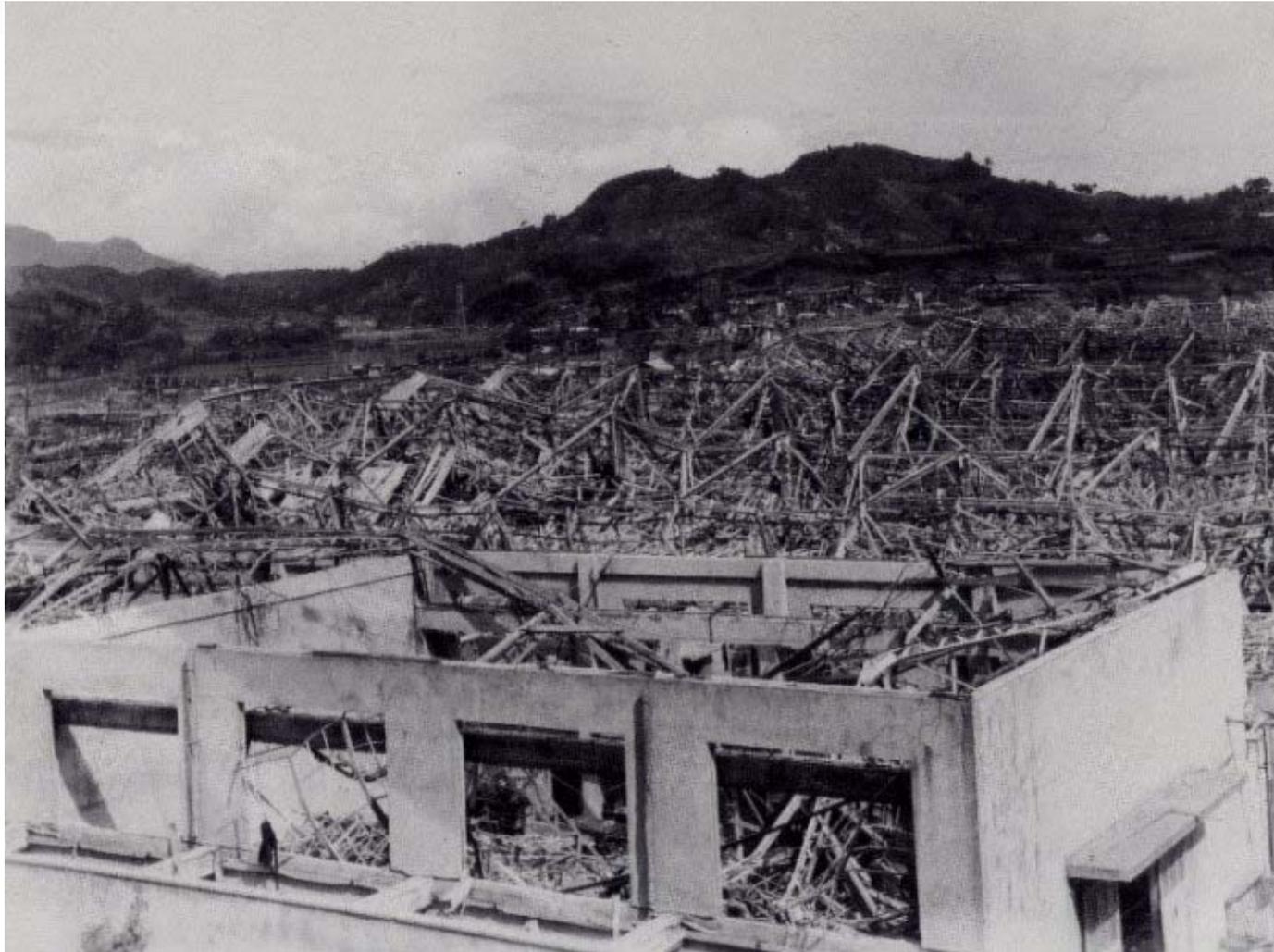
Yield:

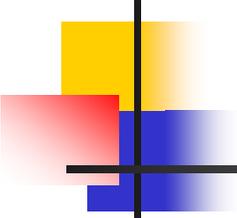
22 kt

40%建築物全毀或嚴重毀損



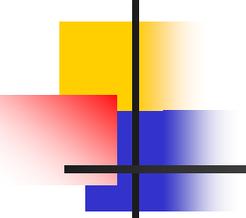
較廣島火災輕爆震重





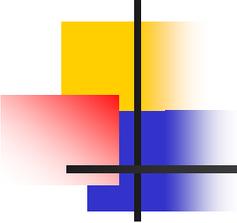
日本核爆影響摘要I

- 廣島核彈能量通過**衝擊波**、**熱**、**輻射線**(**50%**、**35%**、**15%**)等方式爆發。
- 爆炸中心的**風速**大約是440米/秒，相當於12級颱風風速的**10**倍；爆心的**風壓**達350萬帕(Pa)，相當於1平方米的地方加壓**35**噸重物，2公里以內的風壓是30萬帕，此範圍內的木質房屋全毀。
- 總熱(紅外線)能約是22萬億焦耳，在爆炸後的3秒內釋出，爆心的溫度，達到**3,000-4,000°C**，爆心附近的房屋瓦片紛紛「起泡」，木質房屋自燃。



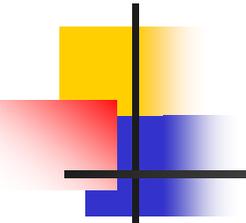
日本核爆影響摘要II

- 地表每1平方公分約有**高速中子**1.2兆(10^{12})個、**慢與熱中子**9兆個。
- 核爆的蕈狀雲含有大量**輻射塵**，此輻射塵和雲中的水氣混合在一起，形成了黑雨落下，污染了河流，難民因口渴不慎飲入，多數即在數日內死亡。
- **廣島**市估計約有7萬人立即因核爆而炸死，到1945年底，因燒傷、輻射和相關疾病的影響的死亡人數，約9-14萬。到1950年止，因癌症和其他長期併發症，共約20萬人死亡。
- **長崎**市人口有24萬，估計死者約達14.9萬人。



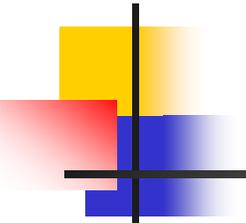
核電廠意外

- 廢燃料池事故。
- 核燃料循環事故。
- 火災。
- 冷卻水系統管路破裂。
- 反應爐超臨界。
- 爐心熔毀：
 - 反應爐壓力槽完整。
 - 圍阻體完整。
 - 放射性物質外洩。



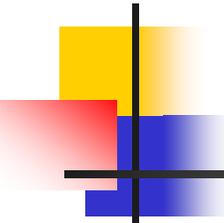
爐心熔毀

- **爐心熔毀**指核反應爐因無法及時冷卻而熔化造成的損毀，爐心熔毀之結果可能導致放射性物質逸出**反應爐壓力槽**，甚至是**圍阻體**，並造成人類及其他生物罹患嚴重後遺症。
- 爐心熔毀雖也可指使用**核動力的航海器具**（如潛艇或航空母艦等）所發生的災害，不過因規模不大，一般是指**核電廠**內發生的爐心熔毀事故，例如車諾比核事故。



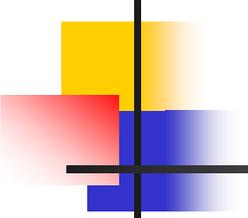
國外核電廠意外實例I

- 1957年蘇聯位於烏拉山區車里雅賓斯發生核廢料槽爆炸，將近一萬一千人被迫撤離，稱吉斯亭(Kyshtym)事故。
- 1957年英國溫斯喬(Windscale)氣冷石墨反應爐發生火災，估計2萬居里放射性物質外釋。
- 1973年英國塞拉菲爾德(Sellafield)的處理廠再發生事故，放射性物質洩漏流入作業區，造成處理槽放熱反應。
- 1979年美國賓州三哩島(Three Mile Island)核能電廠發生事故，造成反應爐爐心嚴重毀損。



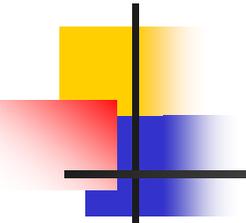
國外核電廠意外實例II

- 1980年**法國**聖洛朗(Saint-Laurent)核能電廠發生事故，反應爐部份毀損。
- 1986年蘇聯發生車諾比核能事故。
- 1989年**西班牙**Vandellòs核能電廠發生異常事故，因火災使機組安全系統受到損害，嚴重波及深度防禦機能。
- 1999年9月**日本**JCO公司核燃料處理廠擅自更改操作程序，造成臨界事故，使得工作人員2人死亡，附近居民局部疏散。



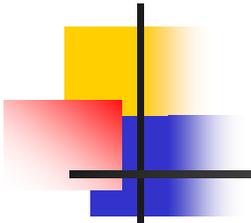
我國核電廠意外I

- 1993年核二廠二號機於年度大修中，因控制棒吊至接近水面位置，造成工作人員約1小時內接受的劑量超過法定年劑量限值事故。
- 1993年核三廠一號機，因值班員機警度不夠且反應不當，造成燃料填換池水位下降，廠區內非預期的區域重大污染及約5000加侖之放射性廢水排至廠外的海域。



我國核電廠意外II

- 1994年核二廠一、二號機，因廢料系統清出之污泥袋發生破漏使得廢水的導電率升高，廢料人員在處理過程中操作不當，以失效的除礦器處理廢水，導致廢水酸性過高。
- 1999年核一廠，承包商司機駕駛廢料運送車，下車辦理入庫手續時，運送車順著坡道滑下掉落乾華溪中。
- 2001年核三廠，由於「鹽霧害」破壞超高壓輸電系統以及緊急電源無法啟動，造成核三廠一度陷入「全黑」的狀態。



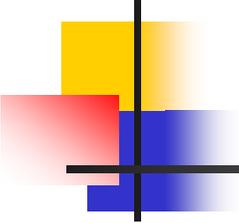
車諾比核電廠事故

- 蘋果日報 2011年3月13日【歐陽梅芬、邱俊吉/綜合報導】
- 全球最嚴重的核能意外發生在1986年4月26日，當天烏克蘭車諾比核電廠的四號反應爐爆炸，這次災難的**輻射落塵**是投在廣島的原子彈的**200倍**以上，有**200**人受嚴重污染，陸續造成**57**人死亡。
- 2005年一份由國際原子能總署和世界衛生組織提出的報告中，推估在車諾比地區**660**萬人口中，未來死於輻射人數可能高達**4000**人。

車諾比核電廠事故

1986年4月26日 01:23



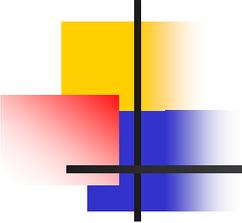


車諾比核電廠簡介

- 車諾比(Chernobyl)位於歐洲東方，黑海邊緣，介於波蘭及俄羅斯間，白俄羅斯(Belarus)南方，前蘇聯、現烏克蘭(Ukraine)共和國。
- 車諾比(Chernobyl)位於烏克蘭首都基輔(Kiev)西北方約130公里處，普里比亞特(Pripyat)河左岸約300公尺邊。
- 車諾比電廠在當時有四座沸水式水冷卻石墨緩衝的反應爐，水與鈾燃料棒接觸而被加熱沸騰，所產生的水蒸汽帶動兩座50萬千瓦的渦輪機以產生電力。

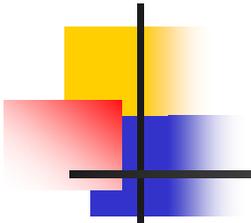
車諾比核電廠





車諾比核電廠事故摘要(1/2)

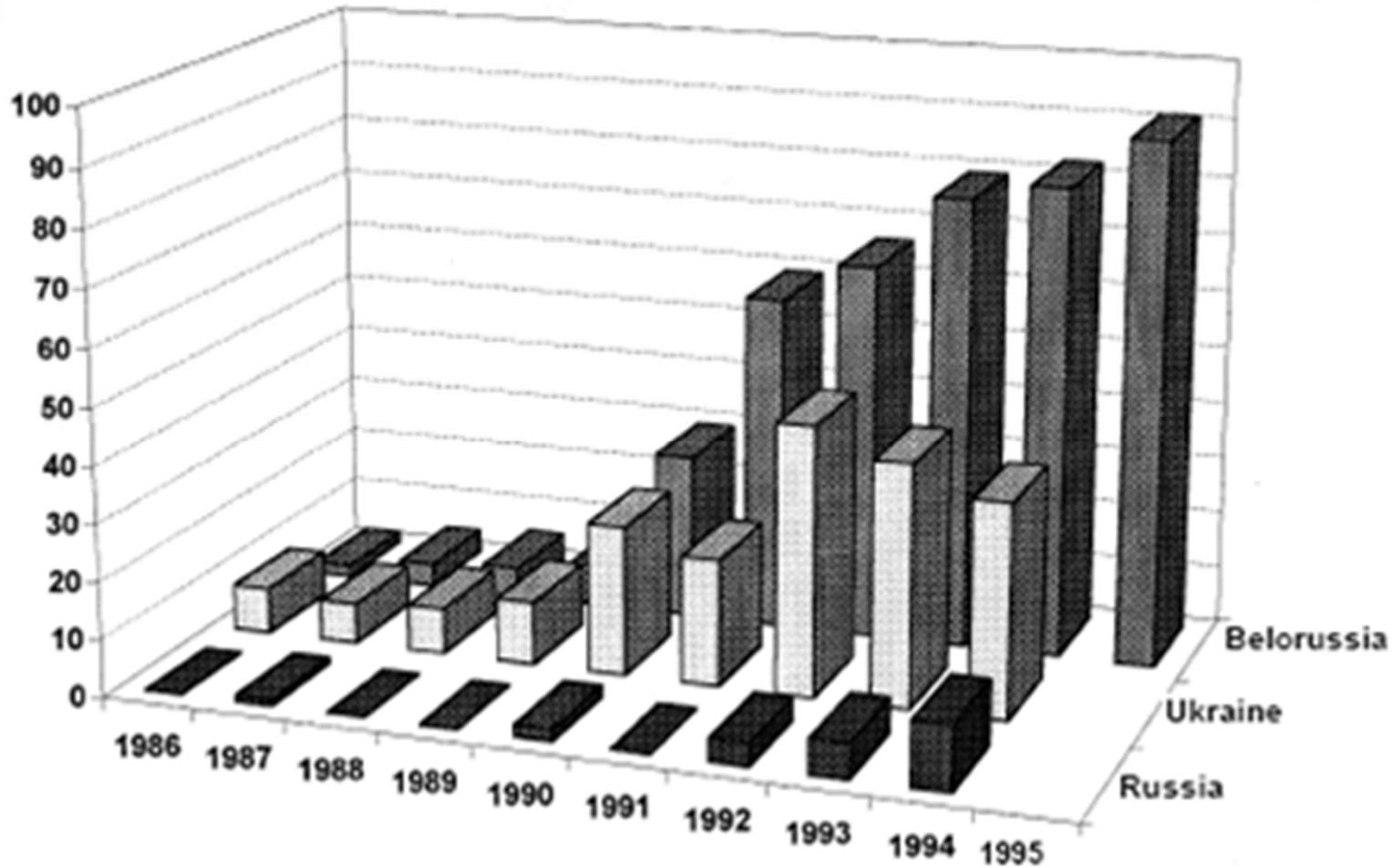
- 事故發生後，數天內計209人送往醫院治療，其中31人死亡。死亡者多是消防隊員和救護員，他們不知道**高量輻射**(~4西弗)將**致命**。
- 一週後事故地點劑量率為2000毫西弗/小時，即1小時累積劑量為法規一般人年劑量限制值的2000倍，致死劑量的1/2。
- 在撤離的約12萬人中，24,000人輻射劑量超過450毫西弗，估計將有100-200人因這次過量輻射死於癌症。



車諾比核電廠事故摘要(2/2)

- 烏克蘭、白俄羅斯、蘇俄地區，仍有超過100萬人生活於污染區內。
- 撤離孕婦中，染色體異常(雙中節染色體)數目高於正常值9倍。
- 白俄羅斯嬰兒出生率下降50%、兒童罹患淋巴瘤率上升28.5%。
- 撤離小孩中，1/4甲狀腺功能低下，罹患癌症(包括甲狀腺癌及血癌)機率超過正常值。

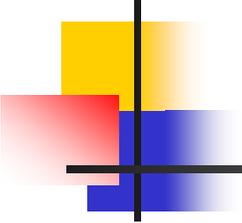
兒童甲狀腺癌發生率 (1986-1995)



遺傳變異

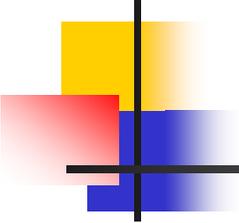


Copyright © 1996 EarthBase / Liaison Agency. All rights reserved.



福島核電廠事故I

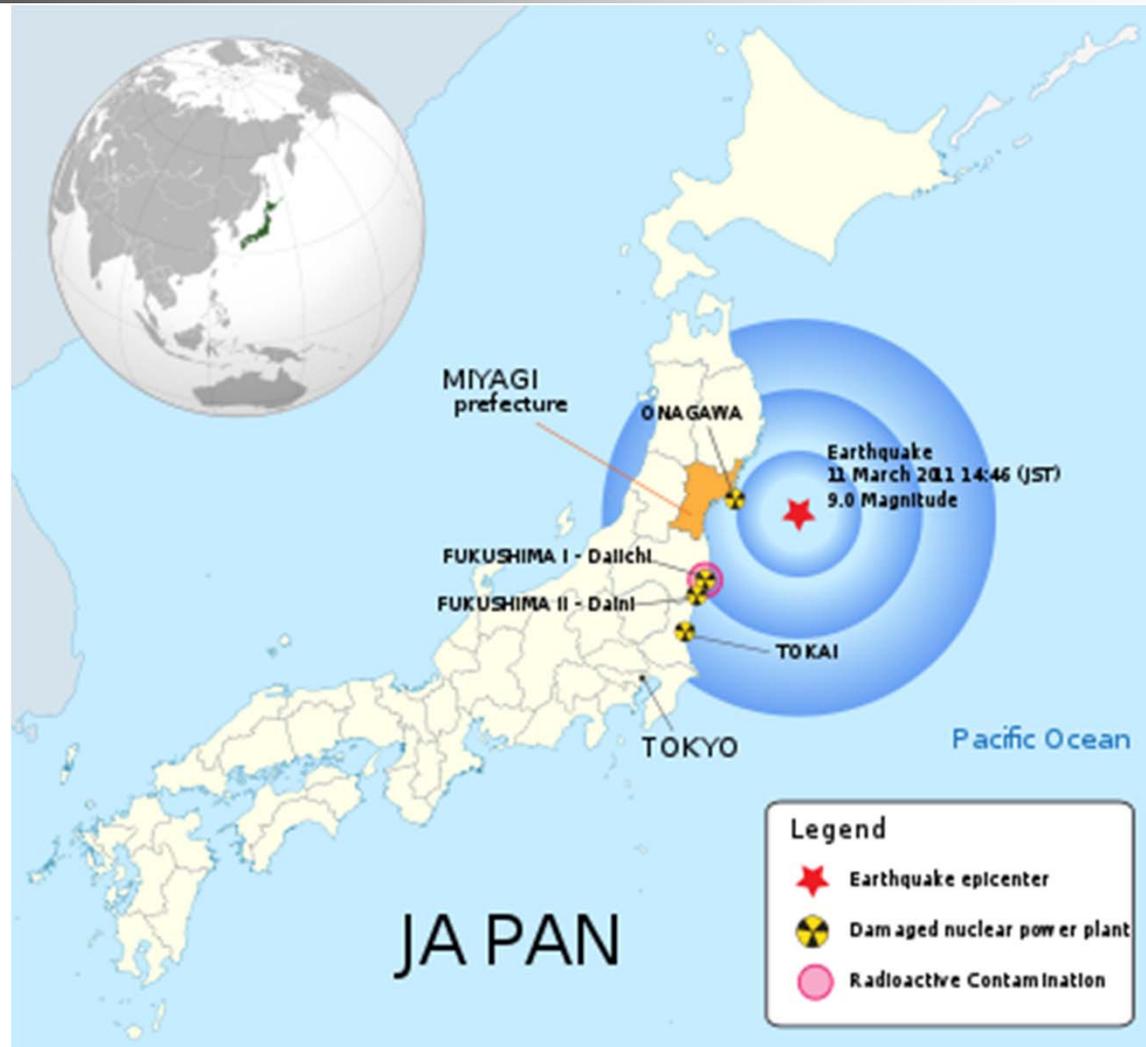
- 公視新聞議題中心 2011年9月11日【張岱屏、張光宗、陳慶鍾／採訪報導】
- 今年3月11日，日本經歷了人類歷史上前所未有的**地震、海嘯與核災**三重的災變，半年過去，地震與海嘯帶來的傷害漸漸成為過去式，但是核災事故卻還是一個進行式，三座熔毀的反應爐仍持續釋放放射性物質，輻射塵污染著大地。
- 日本政府緊急撤離20公里範圍內的21萬居民，並要求20到30公里範圍內14萬的居民在室內掩蔽，在核災危機完全解除之前，居民必須隨時準備撤離。

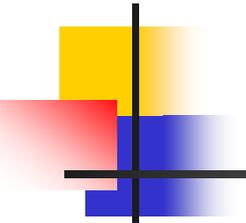


福島核電廠事故II

- 7月30日，我們經過福島縣相馬市的靈山，在距離福島核一廠40公里的地方，車內的輻射劑量就高達**每小時3微西弗**左右。
- 由於輻射劑量異常飆高，所有成員都穿上防護衣、帶上口罩，避免沾染或吸入輻射塵。
- 現場測量發現，接近地表的地方高達**7微西弗/小時**，已經超過20毫西弗/年的**撤離標準**，但這條從相馬市通往福島市的道路並沒有管制，路上行人也沒有穿戴防護衣或口罩。究竟，日本政府劃定避難區域的標準是什麼？

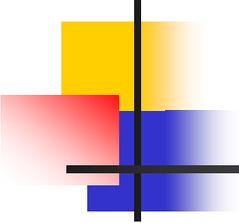
福島位置





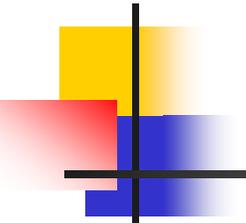
福島核電廠事故輻射污染I

- 3月27日，2號反應爐渦輪機房地下室淹入的積水中，驗出放射物質含量超過一般含量的10萬倍。
- 為防止**輻射污水**溢流至大海，冷卻作業更困難，大幅降低注入2號機的冷卻水功率。
- 東電另採取兩種方法防止輻射污水洩漏至大海：積水抽至儲存槽、找出廠區與大海間地質裂縫並堵漏。
- 4月6日，堵漏成功，輻射污水已停止從豎井洩漏至大海。



福島核電廠事故輻射污染II

- **台灣**：3月22日至28日在空氣樣本中，驗出微量的碘-131，約相當每年呼吸曝露劑量0.01微西弗，判斷對人體暫無危害。
- **中國**：3月底，東北、華東、華南和西部大部地區空氣中監測到人工放射性同位素碘-131，但輻射劑量少於天然背景輻射量的十萬分之一，不會影響環境和公眾健康。
- **香港**：3月26日首度在香港檢測到微量碘-131，4月1日測得碘-131量比26日上升了12倍(約每立方米828微貝可)，仍屬極微量。

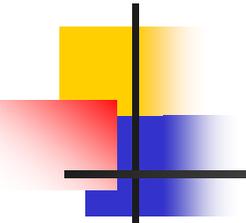


國際核能事件分類(1/6)

依據國際核能事件分級制度，將核能事件區分為**0~7級**。

■**0~3級** → **異常事件(incident)**

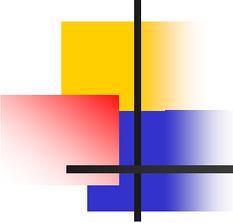
這類異常事件**與核子事故無關**，通常是指廠內工作人員受傷、颱風來襲、電廠停機等情況。電廠遇到這種情況時，應將事件處理以及改善措施陳報行政院原子能委員會，因不會影響民眾正常作息，所以**不需要民眾採取防護行動**。



核能事件分類(2/6)

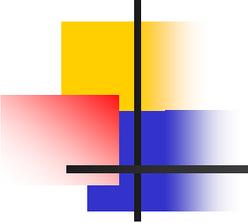
- 4~7級 → 核子事故(accident)

這類事件即是所謂的「核子事故」，可能有放射性物質外釋，電廠應通知政府有關單位立即動員緊急計畫體系，採取應變措施。同時在事故漸漸惡化時，通知民眾並執行各種必要的防護行動。



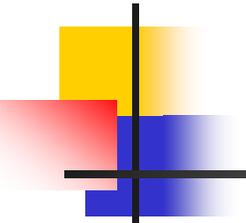
核能事件分類(3/6)

- 0級：無安全顧慮。
- 1級(異常警示)：發生功能上之偏差。
- 2級(偶發事件)：發生重大污染或工作人員超曝露。發生潛在安全影響之事件。
- 3級(嚴重事件)：極少量之放射性物質外釋，造成民眾輻射曝露**尚未達規定限值之程度**；發生大量污染擴散及工作人員有輻射急性效應發生；接近發生事故狀態，喪失安全防禦功能程度。



核能事件分類(4/6)

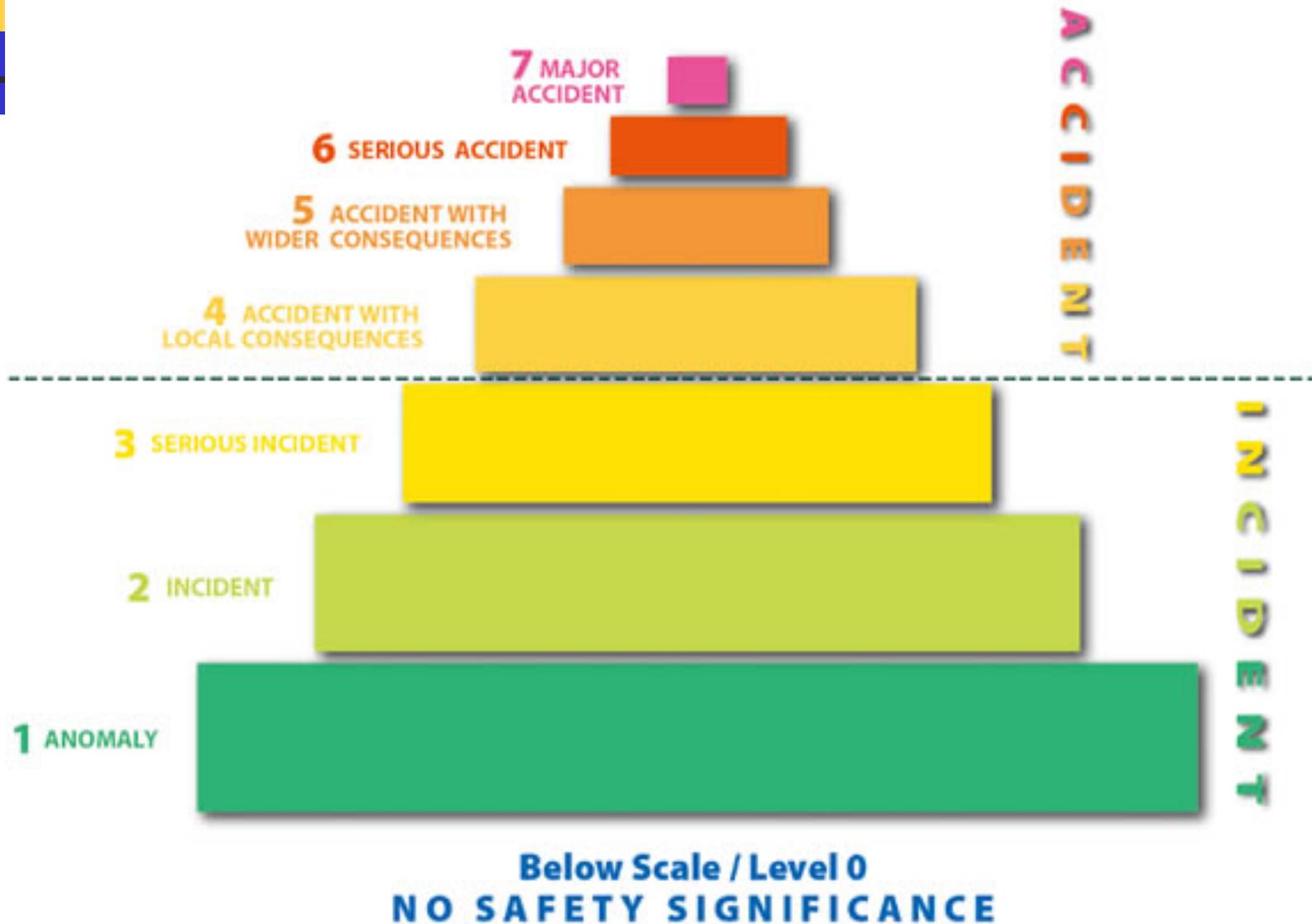
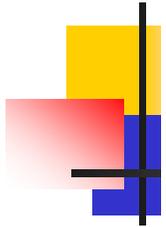
- 4級(廠區意外事故)：輕微放射性物質外釋，造成民眾輻射曝露達規定限值程度；局部性核心或放射性屏蔽毀損之狀態或工作人員接受致命性曝露。
- 5級(廠外意外事故)：有限度之放射性物質外釋，造成須部份施行區域性緊急計畫；嚴重之核心或放射性屏蔽毀損。
1979年美國三哩島核電廠事故。

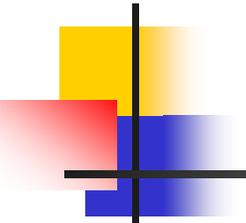


核能事件分類(5/6)

- 6級(嚴重意外事故)：發生極顯著放射性物質外釋，造成須全面施行區域性緊急計畫。1957年蘇聯(今俄羅斯)吉斯亭(Kyshtym)再處理廠核廢料槽發生爆炸，將近11,000人被迫撤離。
- 7級(最嚴重意外事故)：極大量放射性物質外釋，造成廣泛性環境之影響。1986年蘇聯(今烏克蘭)之車諾比爾核電廠事故。2011年日本之福島(Fukushima)核災。

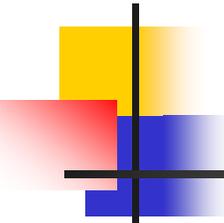
核能事件分類(6/6)





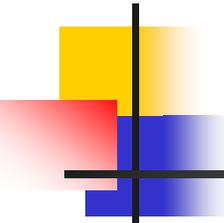
極大量放射性物質外釋(1/2)

- **碘-131**是核電廠災難中最常見的釋出物質，評估標準即以釋放到空氣中的¹³¹I作為基準。
- 評估的標準是**貝克(Bq)**。
- 其他放射性同位素則用一張表格換算成相當的¹³¹I值，例如鈷-60要乘50倍，鈾要乘400-1000倍，銻-239要乘10000倍。
- 釋放到海洋或地面的輻射物質因為有更多複雜的影響因素，因此還要再依個別事件另做評估。



極大量放射性物質外釋(2/2)

- 7級 - 釋出**超過數萬TBq**的 ^{131}I ，對廣大區域的居民健康造成威脅，影響是長期的。
- 6級 - 釋出**數千到數萬TBq**的 ^{131}I ，人員非常有可能必須疏散來保證安全。
- 5級 - 釋出**數百到數千TBq**的 ^{131}I ，人員或許必須疏散來保證安全。
- 4級 - 釋出**數十到數百TBq**的 ^{131}I ，除了食物需要檢測外，大概不需要其他的防範措施。

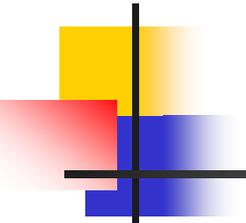


10件嚴重核事故

- <http://www.bbc.co.uk/news/world-13047267>
- 12 September 2011

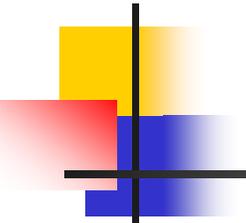
Timeline: Nuclear plant accidents

- The nuclear crisis in Japan has revived fears over the safety of nuclear power and the potential danger posed to public health when things go wrong.
- There have been a number of serious nuclear incidents since the 1950s. Below are details of the most serious.



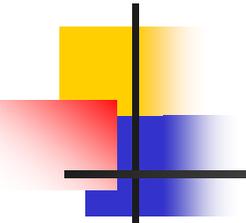
Mayak or **Kyshtym** nuclear complex (Soviet Union): 29 September 1957

A fault in the **cooling system** at the nuclear complex results in a **chemical explosion** and the release of an estimated 70 to 80 tons of radioactive materials into the air. Thousands of people are exposed to radiation and thousands more are evacuated from their homes. It is categorized as **Level 6** on the seven-point International Nuclear Events Scale (INES).



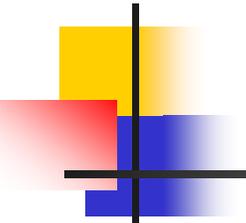
Three Mile Island power plant, Pennsylvania (US): 29 March 1979

- A cooling malfunction causes a partial meltdown in one reactor, resulting in a limited release of radioactivity (INES Level 5).
- The site's first reactor was closed for refuelling. The second was at full capacity when two malfunctions occurred: first there was a release of radioactive water, then radioactive gas was detected on the perimeter. No deaths or injuries were reported.
- It is considered the United States' worst nuclear accident and led to major safety changes in the industry.



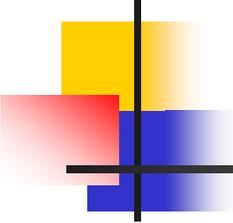
Chernobyl power plant (Soviet Union): 26 April 1986

- One of four reactors explodes after an experiment at the power plant (INES **Level 7**). The resulting fire **burns for nine days** and at least **100 times more** radiation than the atom bombs dropped on Nagasaki and Hiroshima is released into the air. Radioactive deposits are found in nearly every country in the northern hemisphere.
- Two people die in the explosion and another **28 from acute radiation sickness** in the immediate aftermath. Some experts predict **thousands** of extra cancer deaths as a result of the disaster.



Fukushima Daiichi power plant (Japan): 11 March 2011

- A powerful **tsunami** generated by a magnitude-**9.0 earthquake** out at sea slams into the Fukushima Daiichi nuclear power plant, damaging four of six reactors at the site.
- A series of fires are set off, after cooling systems fail. Venting **hydrogen gas** from the reactors causes **explosions**, forcing engineers to use seawater in an effort to cool overheating reactor cores.
- Originally classified as INES Level 5, the severity was raised to INES **Level 7** on 12 April 2011 when a new estimate suggested higher levels of radiation than previously thought had leaked from the plant.



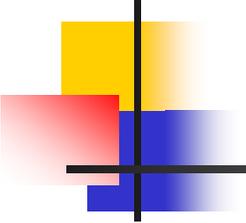
核電廠概況介紹

核電廠的種類

核電廠的安全設計

核子事故相關法規

核子事故應變措施



全球現有核反應爐

- 目前世界上約有1100座以上的反應爐在運轉，主要使用核分裂，共為三類，包括：
 - 研究、醫藥與工業用同位素之小型反應爐：
 - 約有280 座。
 - 船隻(主要為潛水艇)的動力反應爐：
 - 約400座以上
 - 大型發電反應爐
 - 約437 座以上

台電核能電廠位置圖

第一核能發電廠(金山)
裝置容量 **636MW**x2



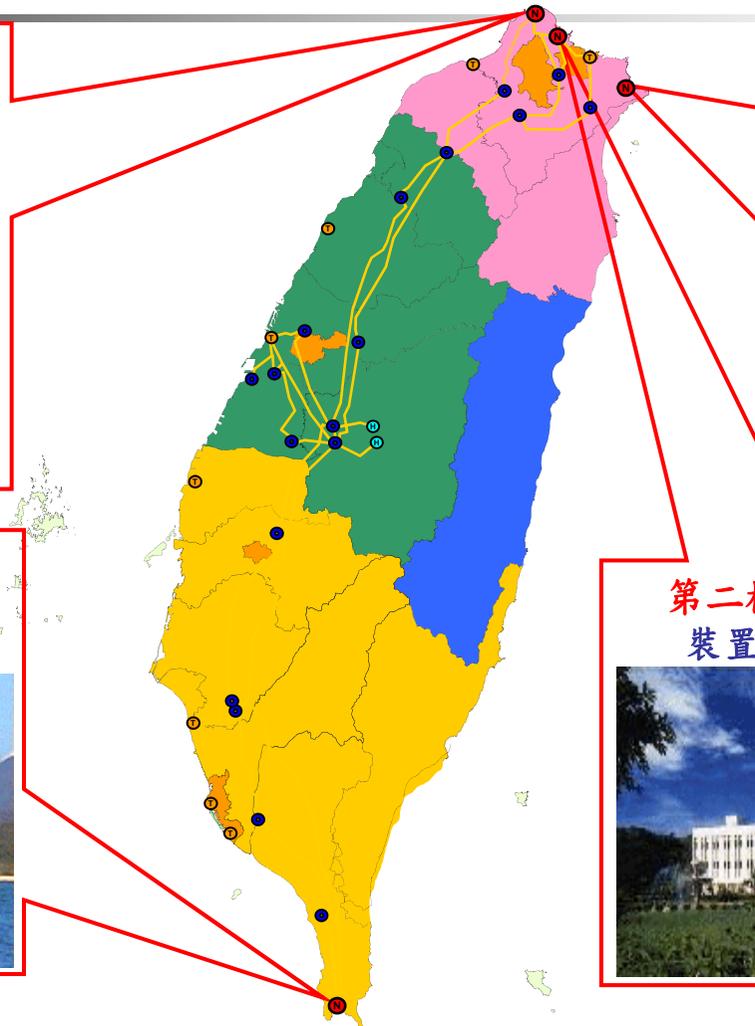
第四核能發電廠(龍門)
裝置容量 **1350MW**x2

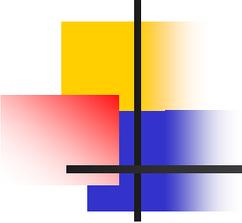


第三核能發電廠(馬鞍山)
裝置容量 **951MW**x2



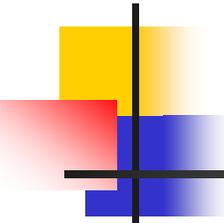
第二核能發電廠(國聖)
裝置容量 **985MW**x2





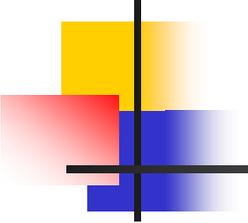
核電廠的種類

- 熱中子反應爐
 - 輕水式反應爐
 - 壓水式
 - 沸水式
 - 重水式反應爐
 - 石墨氣冷式反應爐
- 快中子反應爐
- 核融合反應爐



核電廠的設計原理

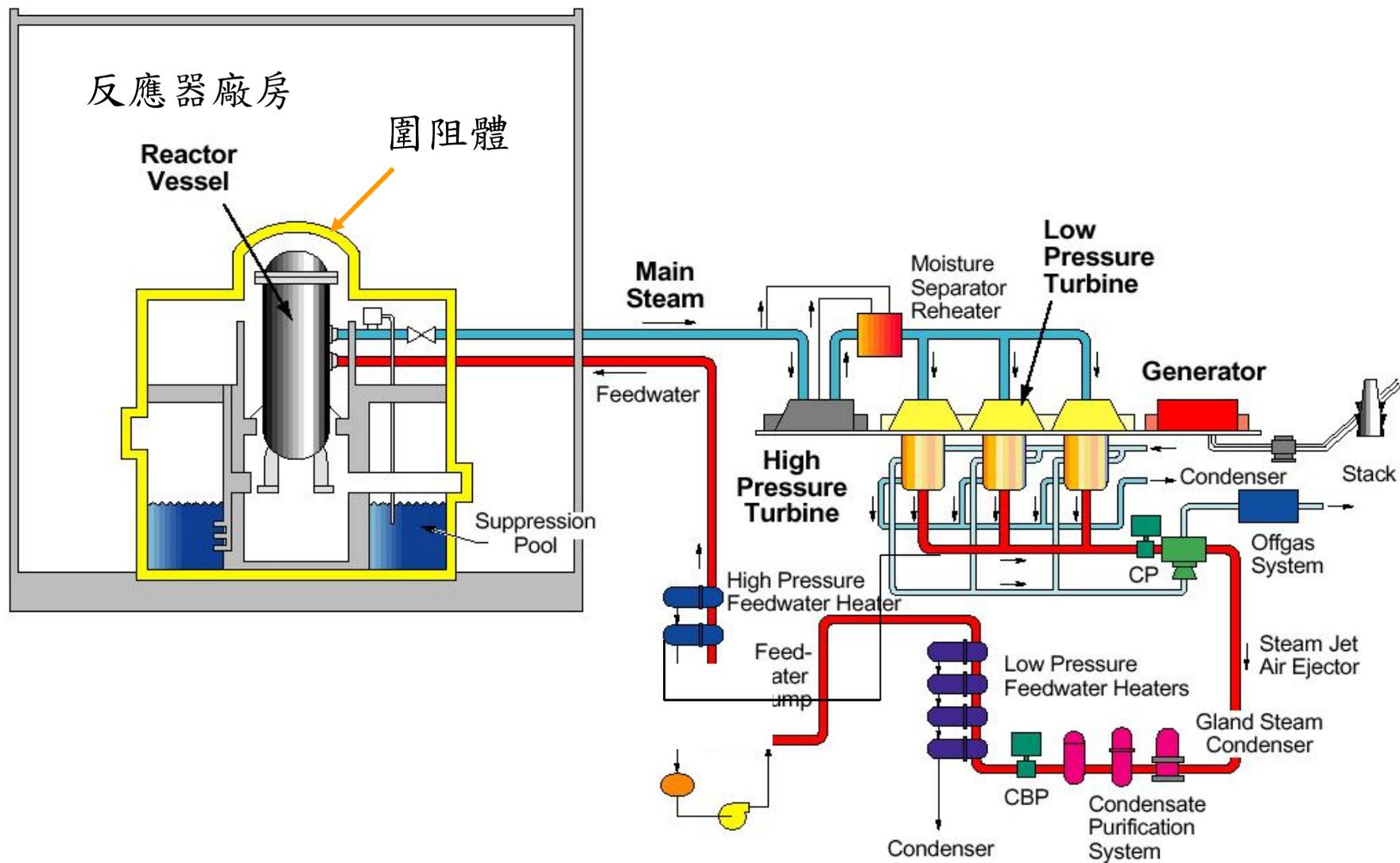
- 反應爐必須用**冷卻劑**把分裂能帶出爐心，冷卻劑也是吸收中子很少的物質。熱中子反應爐最常用的冷卻劑是**輕水**(普通水)、重水、二氧化碳和氦氣。
- 反應爐工作時放出的熱能，由**第一回路系統**的冷卻劑帶出，用以**產生蒸汽**。
- 由**蒸汽驅動汽輪發電機組**進行發電者，稱為**第二回路系統**。

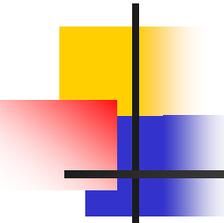


沸水式反應爐

- **沸水式**者之冷卻劑(水)從爐心下方流入，**冷卻劑**沿爐心上升過程中，從燃料棒得到了熱量，使冷卻劑變成了**蒸汽和水**的混合物，經過汽水分離器和**蒸汽乾燥器**，將分離出的蒸汽推動汽輪發電機組發電。
- **壓水式**反應爐的第一回路和蒸汽系統分開，汽輪機未受放射性的污染，容易維修。沸水式者的設計與維修都比壓水式者麻煩。

沸水式反應爐流程圖

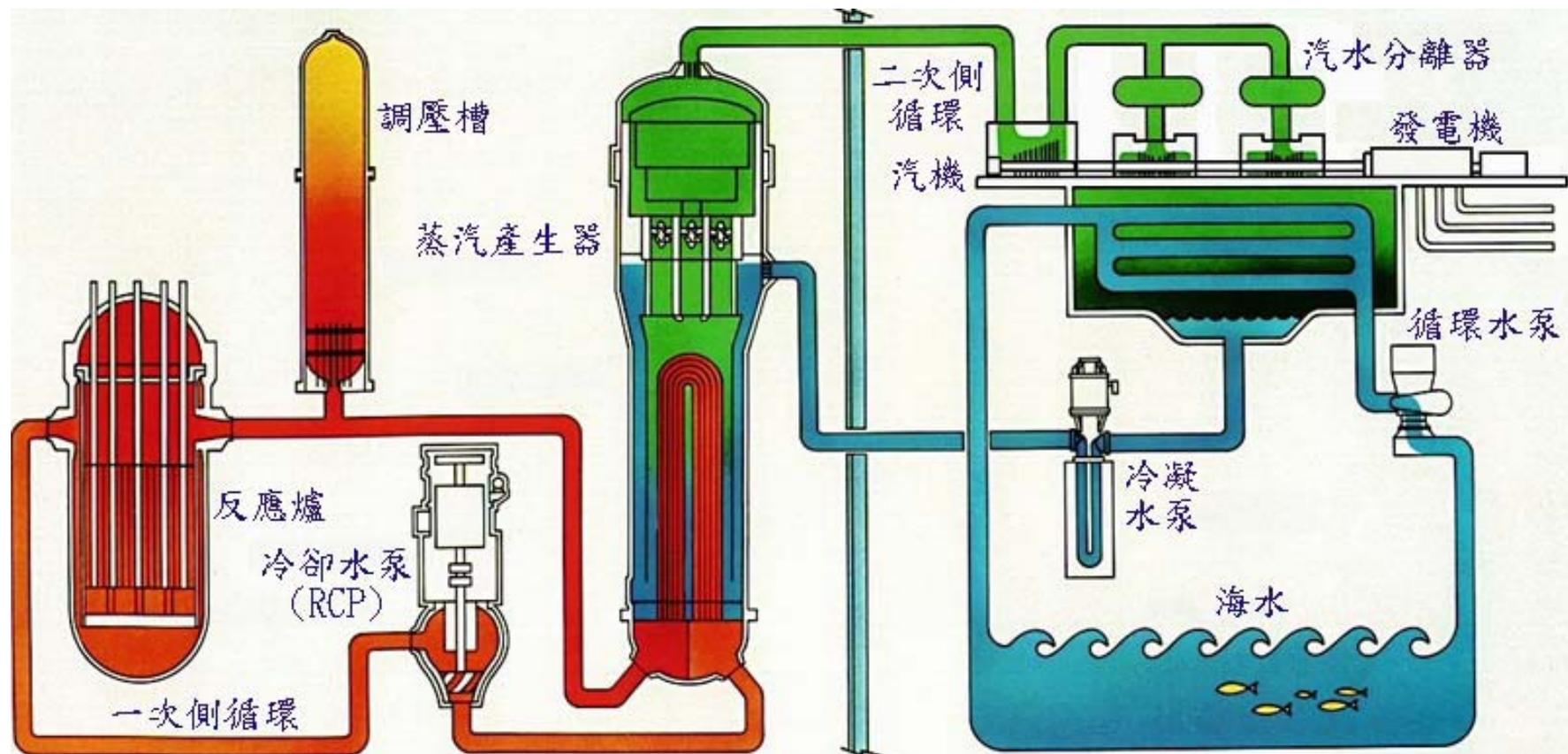


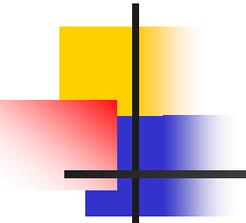


壓水式反應爐

- 壓水式核電廠的第一回路系統與第二回路系統完全隔開，各為**密閉循環系統**。
- 主泵將高壓冷卻劑送入反應爐，冷卻劑把核燃料放出的熱能帶出爐心，並進入蒸汽發生器產生蒸汽。
- 高溫高壓**蒸汽推動汽輪發電機組**發電後，廢汽在冷凝器中凝結成水，再由給水泵送入加熱器，重新加熱後送回蒸汽發生器。

壓水式反應爐流程圖



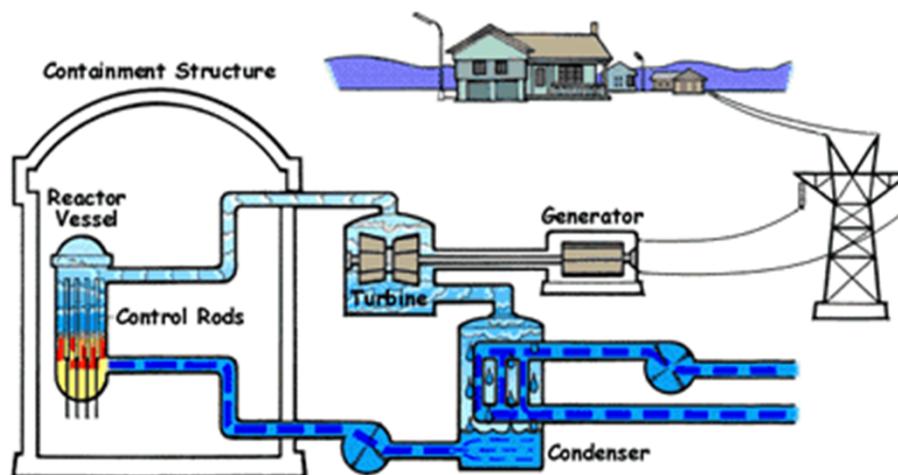


我國核電廠

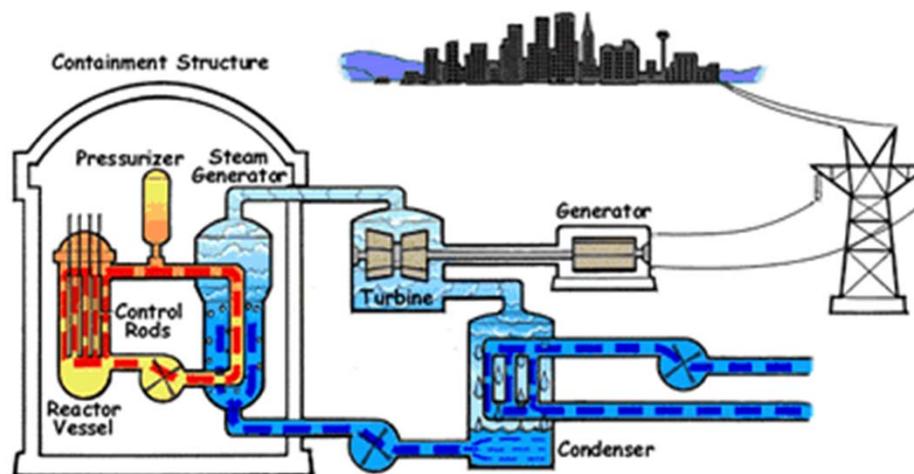
- 截至2000年底，全世界核電廠、核潛艇和核動力航空母艦等使用的反應爐中，以**壓水式**為主，258座運行中的反應爐，壓水式佔總數的64.6%。
- 我國的核電廠多屬於**輕水式**，核一、二、四為**沸水式**(Boiling water reactor, BWR)，其中，核四為進步型(Advanced BWR, ABWR)，核三為**壓水式**(Pressurized water reactor, PWR)。

我國主要的核能機組的型式

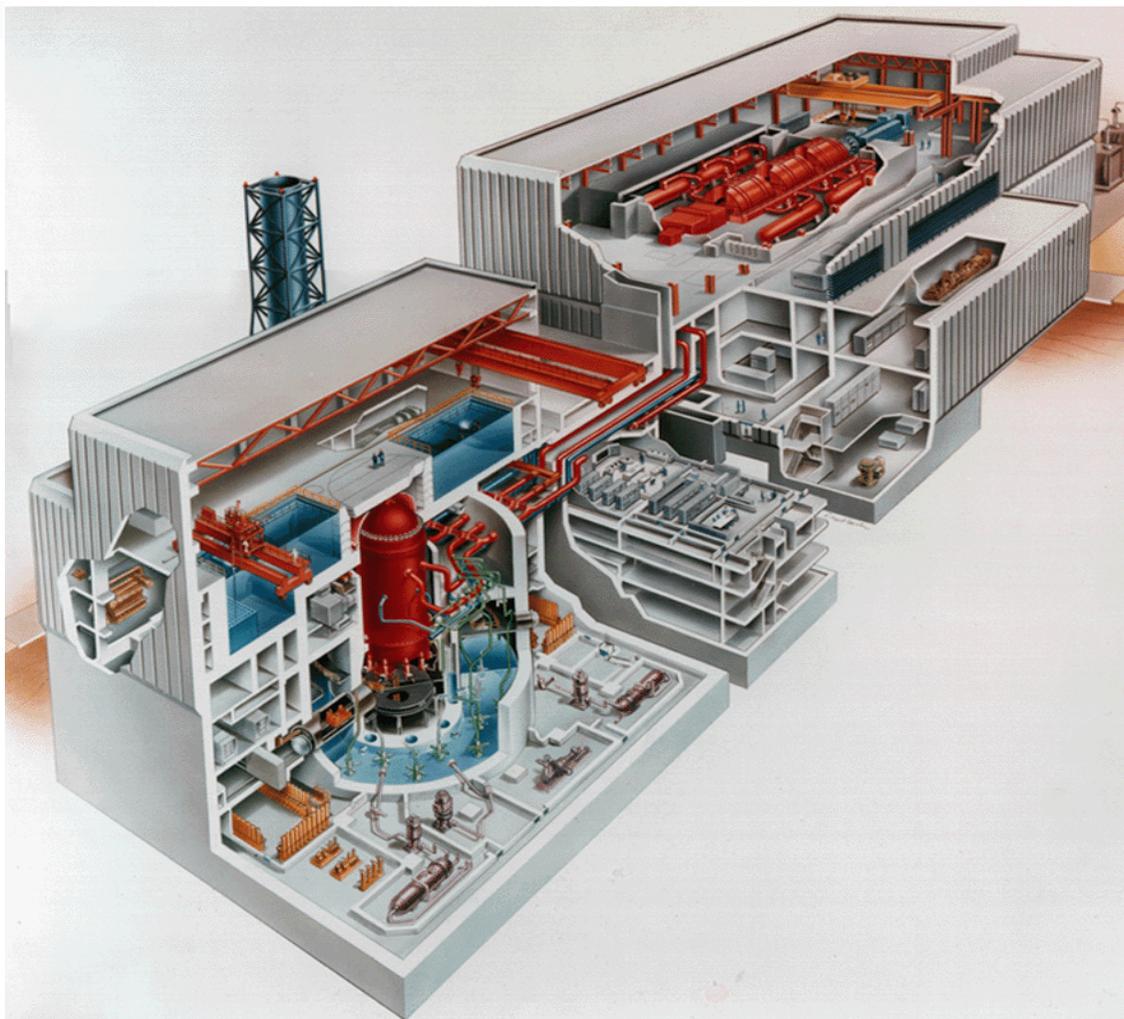
■ 沸水式反應爐



■ 壓水式反應爐



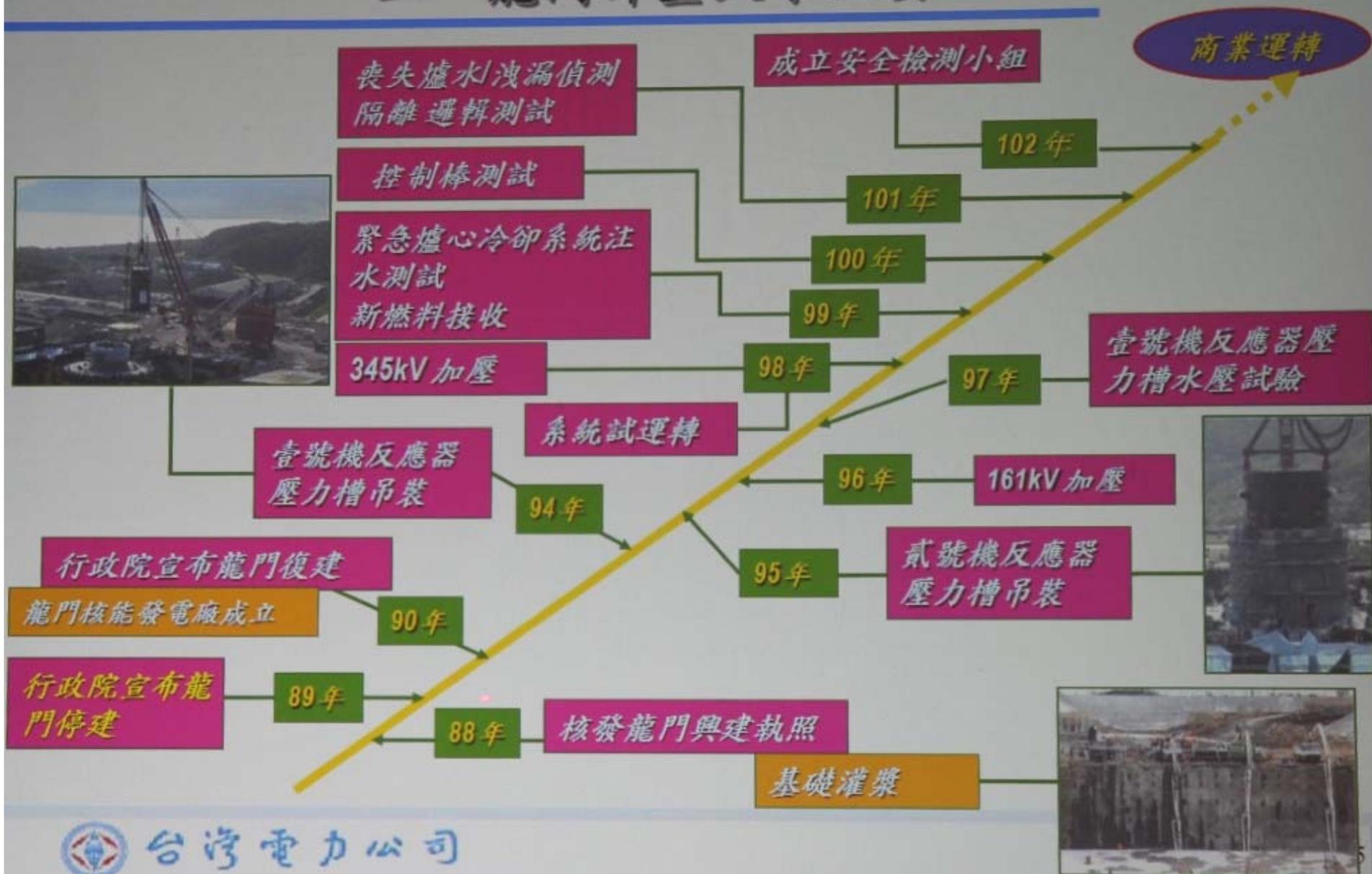
龍門(核四)核能發電廠廠房



進步型

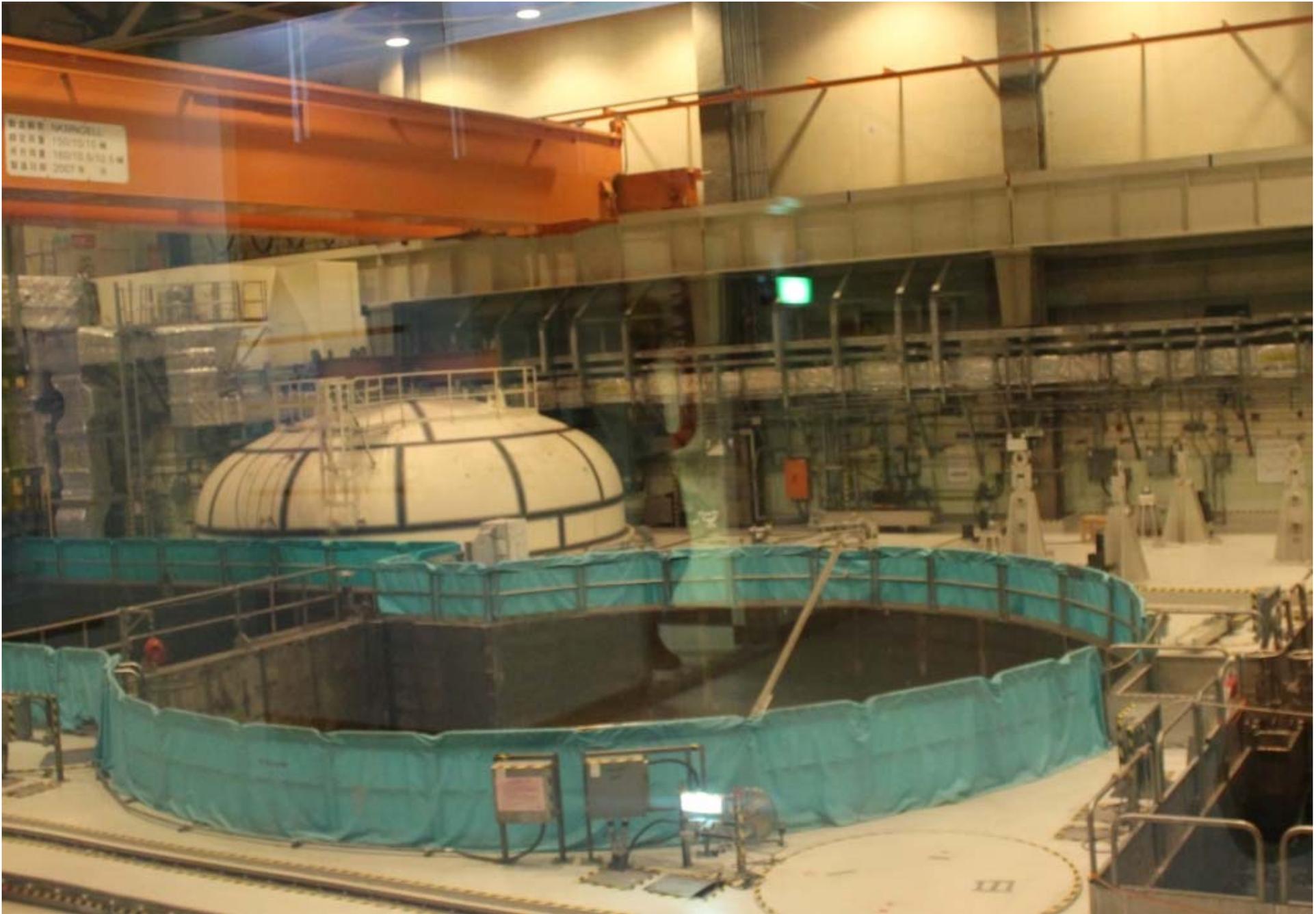


二、龍門計畫大事紀要

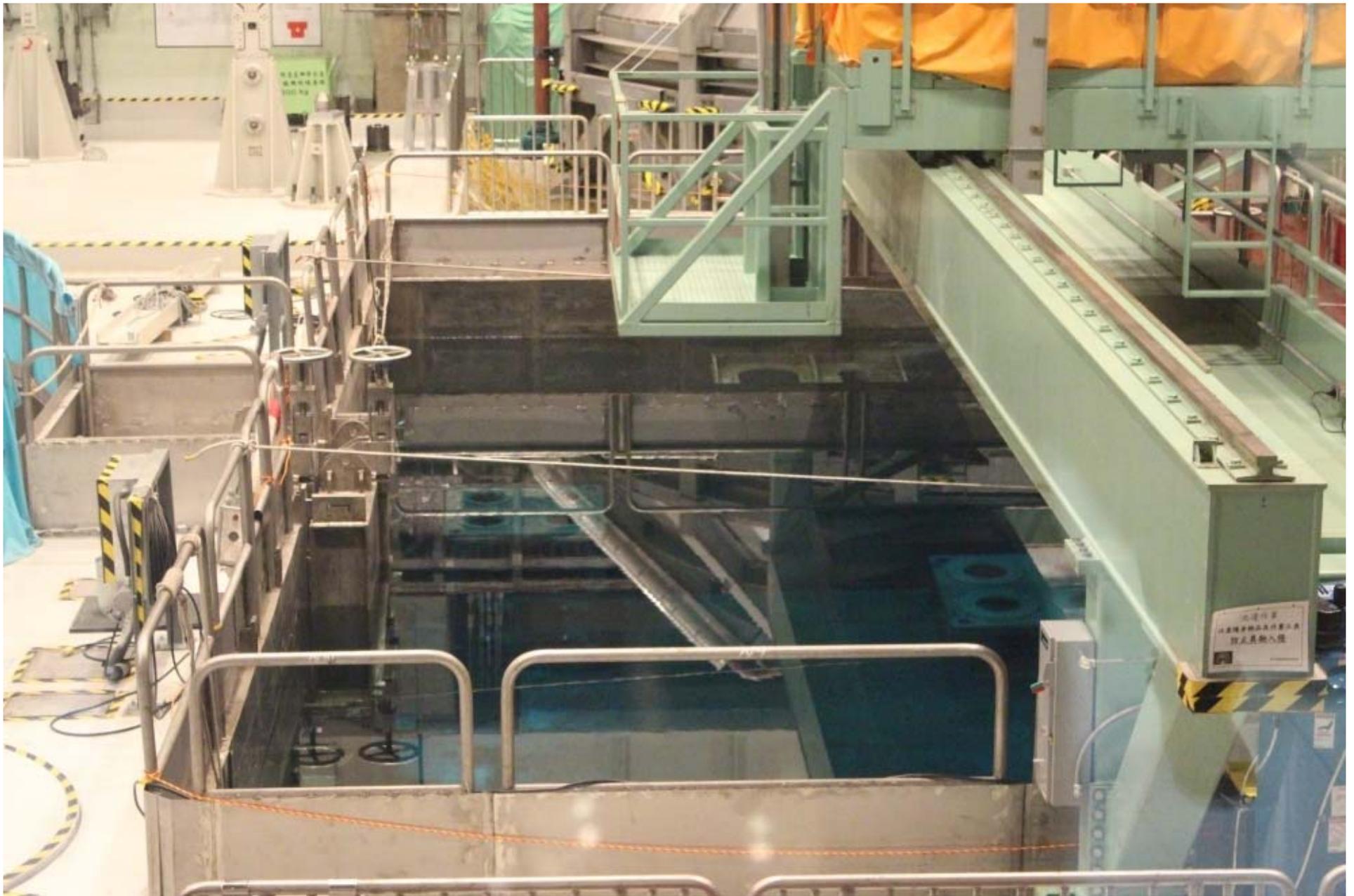


龍門(核四)電廠防海嘯七道防線

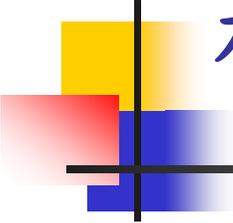






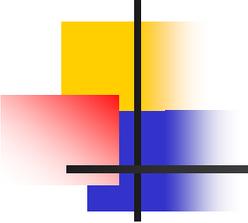






核電廠的安全設計

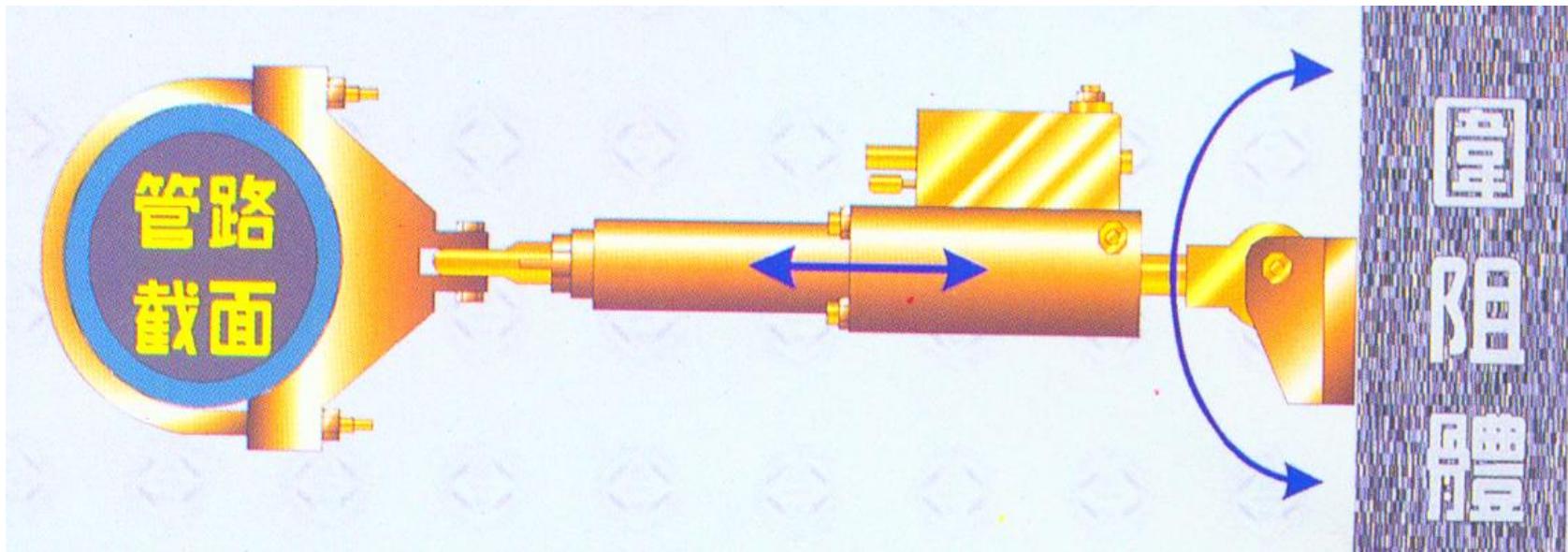
- 廠址的耐震考量
- 深度防禦
- 硬體分離佈置
- 多樣性設備組件
- 安全餘裕與彌補設計
- 機件設備維修與測試計畫
- 維護與運轉人員的訓練



核電廠的地震考量

- 制定安全停機地震值
 - 依廠址中心320公里半徑內的地震歷史及地質資料，訂定廠房「安全停機地震值」標準
- 避開活動斷層
- 廠房基礎均須建造在岩盤上
- 建築結構對稱配置
- 管路使用減震器
- 防範海嘯等天災，設計一獨立的取水池作為緊急冷卻水源

減震器



防止地震過度晃動導致的管路斷裂

屏蔽系統與深度防禦

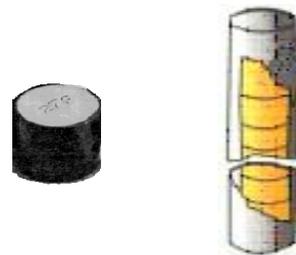
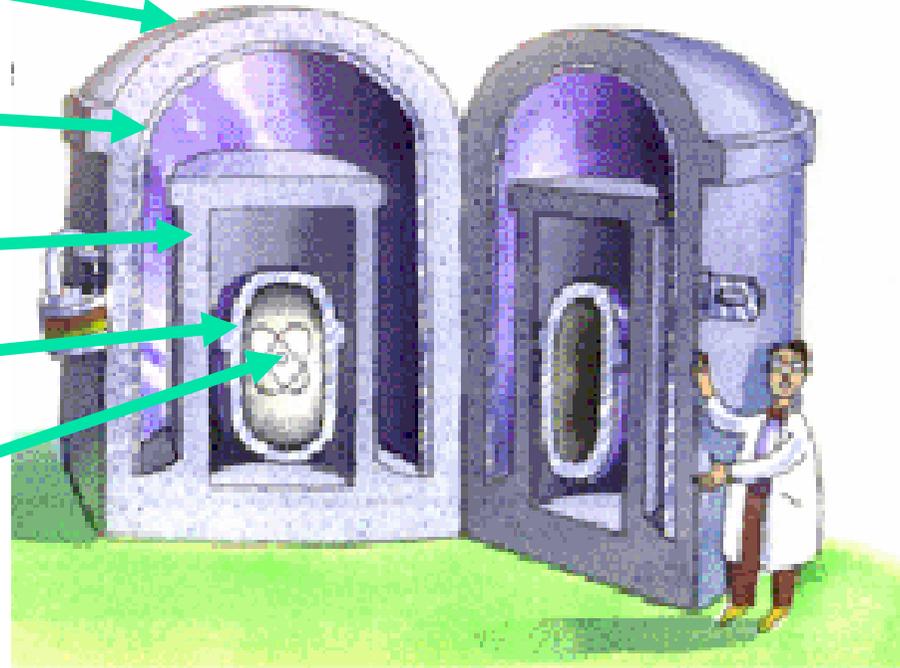
45吋強化鋼筋水泥

1/4吋鋼襯

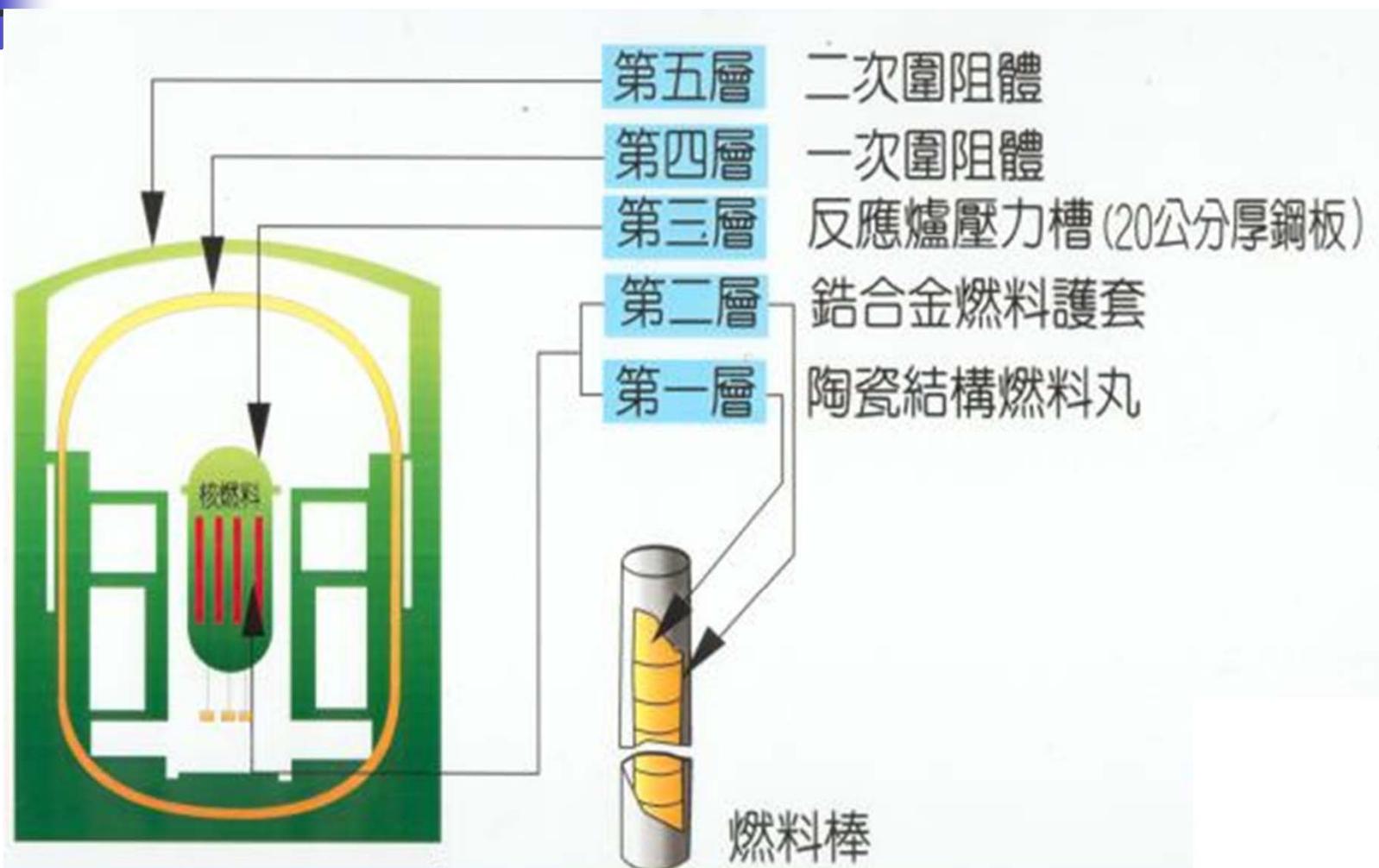
36吋水泥屏蔽牆

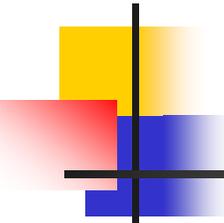
8吋反應爐壓力槽

核燃料丸與護套



防止輻射物質外釋的多重圍阻

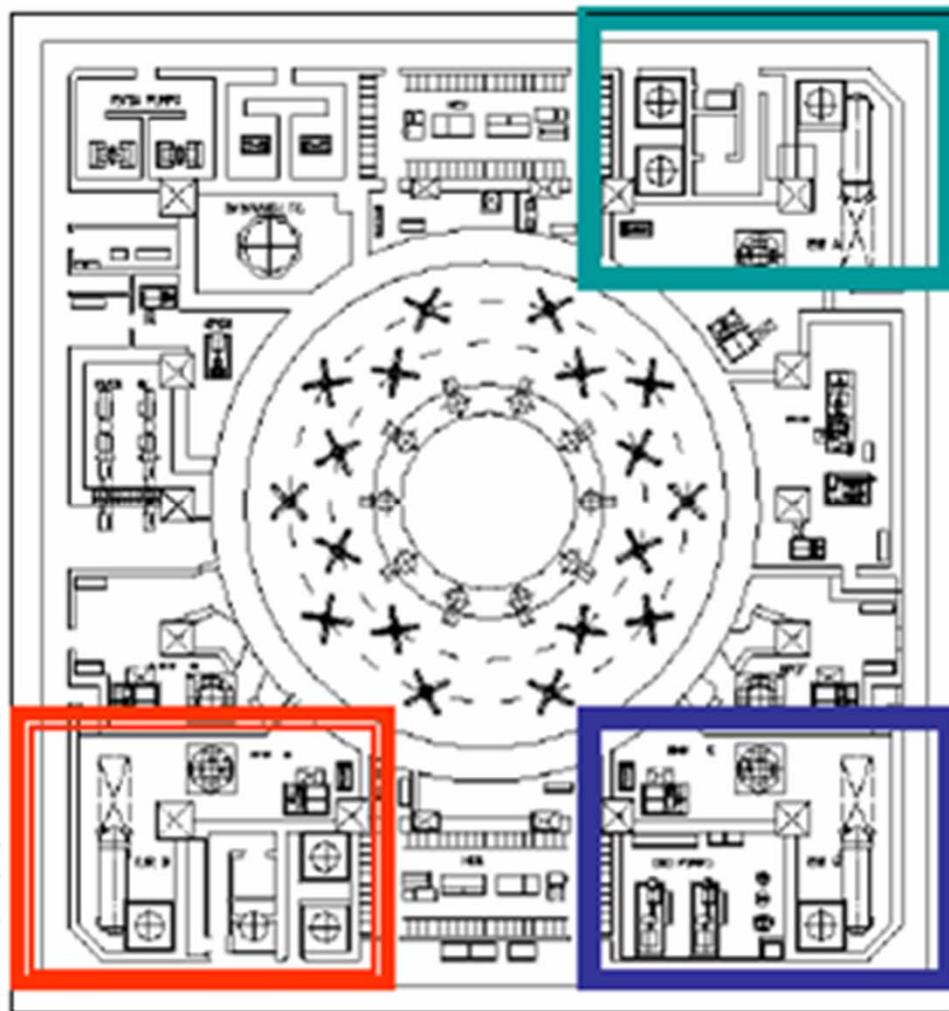




核電廠圍阻體模擬試驗

- 德國使用波音707客機以每小時366公里速度、幽靈式噴射戰鬥機以每小時766公里速度撞擊1.8公尺厚模擬阻體牆、美國以幽靈式噴射機以每小時768公里速度撞擊4公尺厚模擬圍阻牆
- 結果飛機撞成一堆廢鐵，圍阻體牆僅傷及6公分
- 美國使用電腦模擬20萬磅的飛機以每小時240公里速度撞擊核電廠
- 最外層圍阻體就足以保護核電廠反應器安全

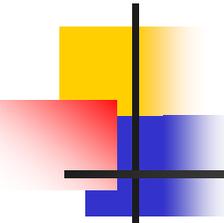
重要設備分置不同位置



第一套
安全系
統裝置
於廠房
西南角

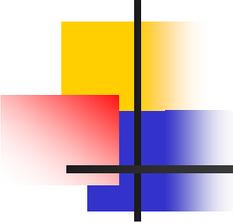
第三套
安全系
統裝置
於廠房
東北角

第二套
安全系
統裝置
於廠房
東南角



安全系統的多樣設計

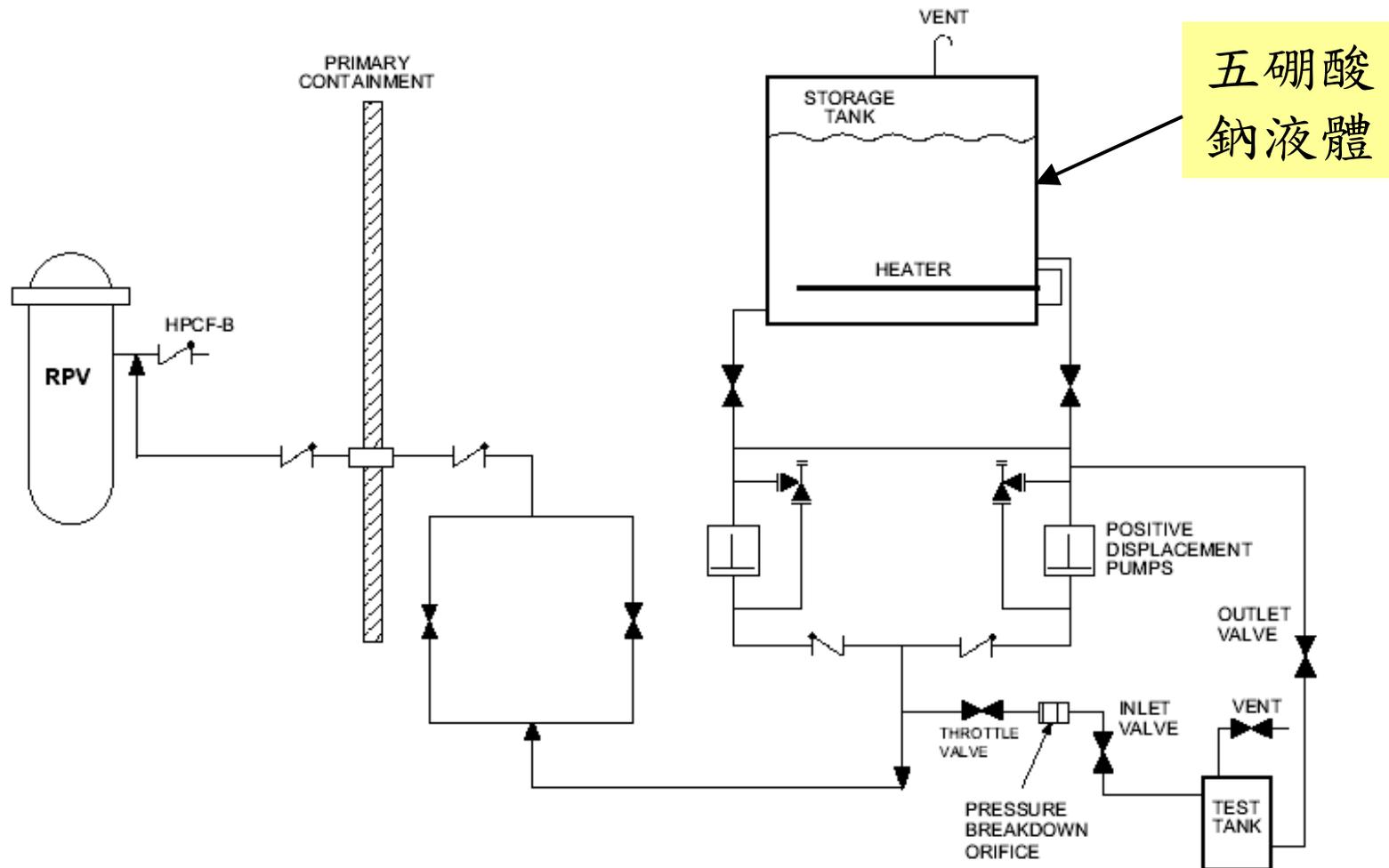
- 多樣性的目的是以不同的系統、組件或措施達成相同的功能目標，避免多套相同的安全系統或組件因同一因素失效。
- 安全系統在設計上只要一套能發揮正常的設計功能，即能保障機組發生嚴重事故時的安全。
- 核電廠對於安全系統採同時多套存在與不同計設原理的多樣設計。

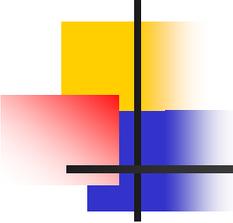


多重反應爐停機設計

- 當偵測到可能危及機組的安全時，保護系統會自動啟動**兩重**急停的保護功能，停止核分裂的繼續發生：
 - **控制棒**：2秒內控制棒插入反應爐(採失靈安全設計)，以中止核分裂反應
 - **備用硼液系統**：若控制棒無法插入反應爐，可藉由硼液注入反應爐，達到停機目的

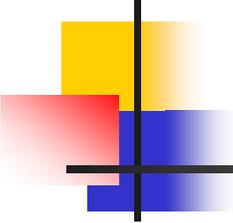
硼液系統





多重停機控制盤

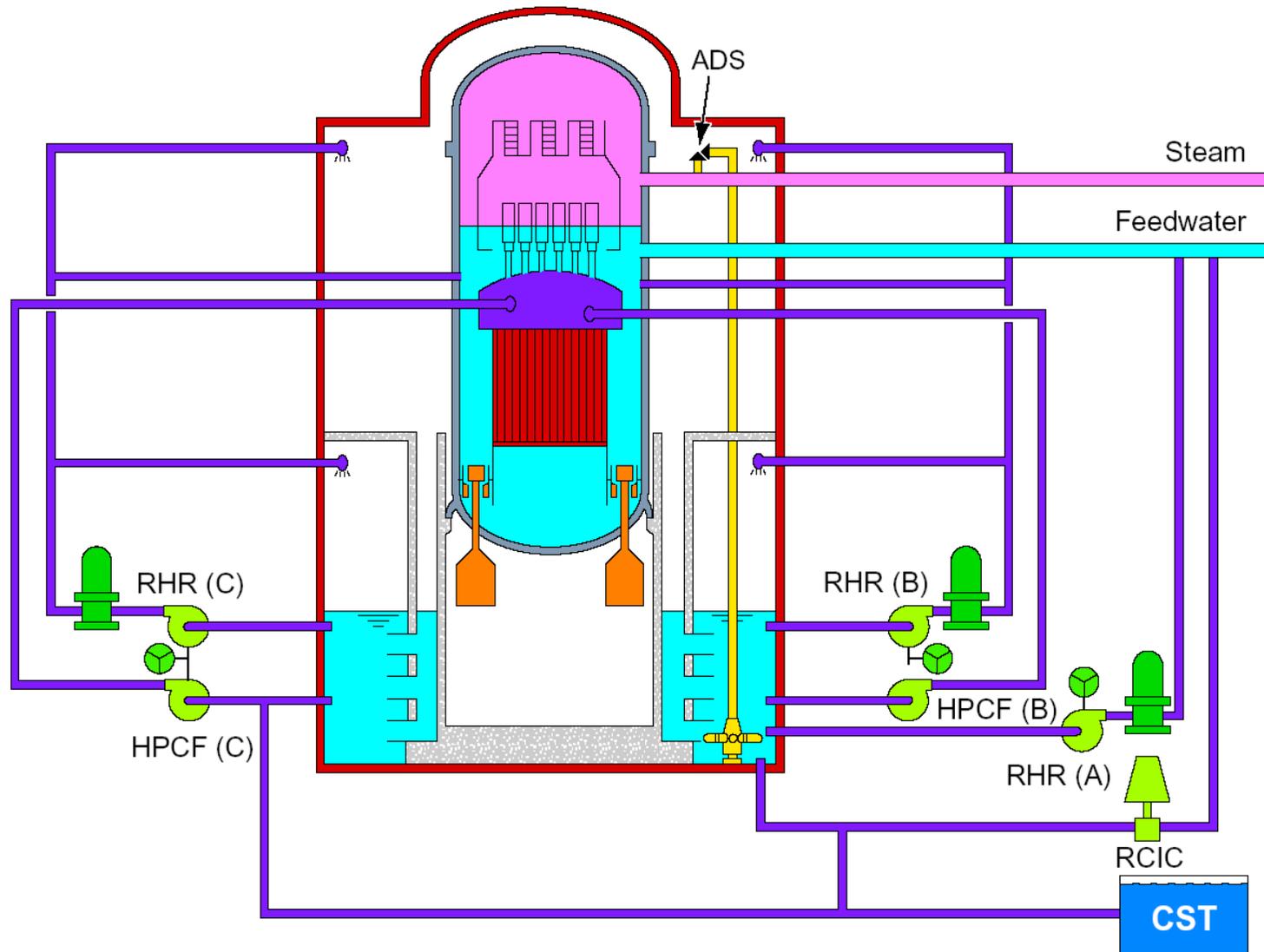
- 主控制盤
 - 裝置於主控制室
 - 作為正常機組的起動/停機的操作與緊急事故發生時的各種操作
- 遙控停機控制盤
 - 裝置於遙控停機室
 - 當發生主控制室必須撤離的情況(如控制室火災)時，可進行機組安全停機的操作

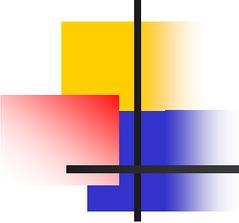


安全系統的多樣設計

- 例如電廠的電源可有345 KV與161 KV的廠外電源，同時亦有廠內的氣渦輪機與緊急柴油發電機等多種來源。而多套的安全系統各有不同的儀控監控設備，同時也用不同的柴油發電機供電，確保安全設備的可用性。
- 例如電廠有三套安全注水系統，包括高壓注水泵、低壓灌注注水泵與低壓噴灑注水泵，並有獨立的取水池作為緊急冷卻水源。

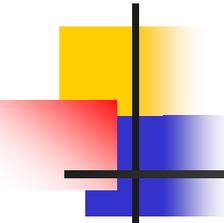
三套安全注水系統





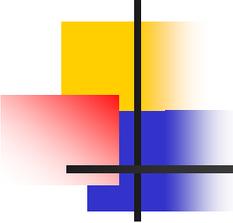
安全餘裕與彌補設計

- **安全餘裕設計**：對於在設計計算、製造、施工與運轉維護可能產生的偏差值，均要有安全的補償餘裕，以保障反應爐的安全。
- **防止人員誤操作與設備誤動作設計**：例如
 - **重要電廠狀況資訊集中控制室**，操作人員易於掌握
 - 重要機件採「**失靈安全**」與「**連鎖邏輯**」（當運轉人員操作錯誤時，監控系統自動阻止錯誤的進一步發生）設計



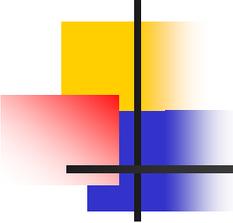
機件設備維修與測試計畫

- 機件設備的維修計畫與管制
 - 重要設備由製造與安裝開始，即需遵守「品質保證」的制度管制。
 - 每年均依安排大修計畫，嚴密檢查，維護與更換備品，以保障設備的功能正常。
- 機件設備的測試計畫與管制
 - 安全機件設備雖在備用狀態，其功能應經由定期的測試計畫與品管監督制度，保障在必要時的可用性。



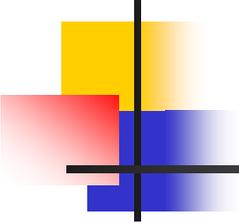
維護與運轉人員訓練

- 維護人員的訓練要求
 - 機件設備的維修計畫與管制
 - 建立核能訓練中心
 - 建立維護人員的證照制度
- 運轉人員的訓練要求
 - 每一個核電廠設有與控制室相同的模擬器，提供運轉人員練習各種機組狀況的操作演練。
 - 使運轉人員除熟習正常的發電操作外，同時亦能應付各種異常的狀況操作。



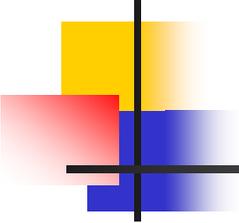
核子事故相關法規

- 核子事故緊急應變法
- 核子事故緊急應變法施行細則
- 核子事故民眾防護行動規範
- 核子事故分類與應變及通報辦法
- 緊急應變組織



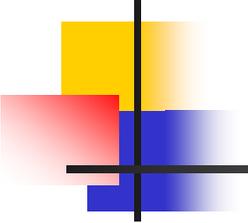
核子事故相關法規(1/2)

- 核子事故緊急應變法—為健全核子事故緊急應變體制，強化緊急應變功能，以確保人民生命、身體及財產之安全。
- 核子反應器設施管制法—為管制核子反應器設施，確保公眾安全。
- 核子反應器設施安全設計準則
- 核子反應器設施品質保證準則
- 核子反應器設施異常事件報告及立即通報作業辦法



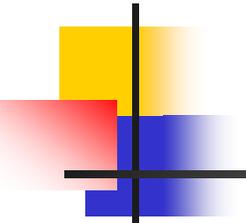
核子事故相關法規(2/2)

- 核子事故緊急偵測要點—為因應核子事故發生時，國內各有關單位全面展開臺灣地區緊急輻射偵測作業，以掌握時效。
- 核子事故緊急應變基本計畫
- 核子事故民眾防護行動規範
- 核子事故分類與應變及通報辦法
- 核子事故中央災害應變中心作業要點
- 核子事故輻射監測中心作業要點
- 核子損害賠償法



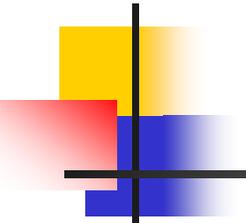
核子事故緊急應變法(1/5)

- **核子事故**：指核子反應器設施發生緊急事故，且核子反應器設施內部之應變組織無法迅速排除事故成因及防止災害之擴大，而導致放射性物質外釋或有外釋之虞，足以引起輻射危害之事故。
- **民眾防護**：指核子事故發生或有發生之虞時，為減少輻射曝露，保障民眾生命、身體安全，所採行之掩蔽、服用碘片、疏散收容、食物及飲水管制、暫時移居、地區進出管制、污染清除、醫療救護等措施。



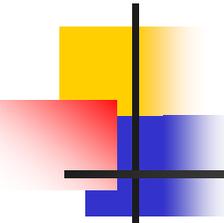
核子事故緊急應變法(2/5)

- **緊急應變計畫區**：指核子事故發生時，必須實施緊急應變計畫及即時採取民眾防護措施之區域。
- **掩蔽**：指核子事故發生或有發生之虞時，民眾停留於室內，並立即關閉門窗及通風系統，以降低吸入放射性核種及輻射曝露可能性之措施。
- **碘片**：指核子事故發生或有發生之虞時，適時服用一定劑量，可防止外釋放射性碘積存於人體甲狀腺部位，以避免或減少甲狀腺癌發生之**碘化鉀**藥劑。



核子事故緊急應變法(3/5)

- **第5條**：中央主管機關應就核子事故可能之影響程度予以適當**分類**，並據以訂定**應變及通報**規定。
- **第6條**：為有效執行核子事故緊急應變，核子事故發生或有發生之虞時，依事故可能影響程度，中央主管機關成立**核子事故中央災害應變中心**及**輻射監測中心**；國防部成立**核子事故支援中心**；地方主管機關成立**核子事故地方災害應變中心**。

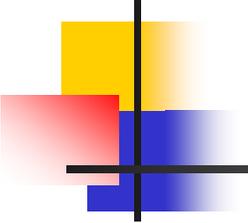


核子事故緊急應變法(4/5)

- **第13條**：核子反應器設施經營者應依中央主管機關之規定，劃定其核子反應器設施周圍之**緊急應變計畫區**，並定期檢討修正；其劃定或檢討修正，應報請中央主管機關核定公告之。

核子反應器設施經營者應定期提出緊急應變計畫區內**民眾防護措施之分析及規劃**，報請中央主管機關核定後，依核定之分析及規劃結果，設置完成必要之**場所及設備**。

前項必要場所及設備之設置，各級主管機關與指定之機關應提供必要之協助。



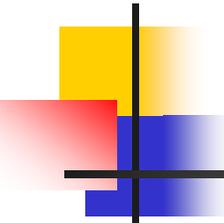
核子事故緊急應變法(5/5)

- **第14條**：中央主管機關應會商各指定之機關訂定**緊急應變基本計畫**及**核子事故民眾防護行動規範**，報請行政院核定後公告之。

地方主管機關應依**緊急應變基本計畫**及**核子事故民眾防護行動規範**，訂定區域民眾防護應變計畫。

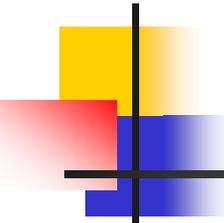
核子反應器設施經營者應訂定核子反應器設施**緊急應變計畫**。

前二項區域民眾防護應變計畫及核子反應器設施**緊急應變計畫**，應報請中央主管機關核定公告之。



核子事故緊急應變法施行細則(1/2)

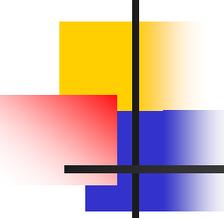
- **第3條**：經營者依本法第十三條第一項規定，劃定其核子反應器設施周圍之**緊急應變計畫區**，應依下列規定辦理：
 - 一. **設計基準事故**在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，不超過**核子事故民眾防護行動規範之疏散干預基準**。
 - 二. **爐心熔損事故**在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，超過核子事故民眾防護行動規範**疏散干預基準**之年機率應小於**十萬分之三**。



核子事故緊急應變法施行細則(2/2)

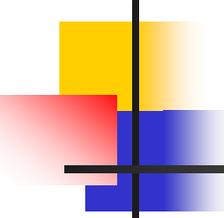
三. 爐心熔損事故在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，超過二西弗之年機率應小於百萬分之三。

經營者依前項規定辦理時，以核子反應器設施為中心分析計算之緊急應變計畫區半徑不得小於五公里，並應以村(里)行政區域為劃定基礎。



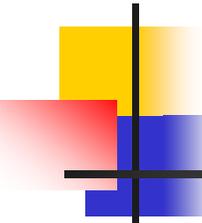
核子事故民眾防護行動規範(1/2)

- 第5點 核子事故發生或有發生之虞時，應考慮採行**掩蔽**措施之**干預基準**，為可減免劑量於**二天內**達**十毫西弗**以上。
- 第6點 核子事故發生或有發生之虞時，應考慮採行**疏散**措施之**干預基準**，為可減免劑量於**七天內**達**五十至一百毫西弗**。
- 第7點 核子事故發生或有發生之虞時，應考慮採行**服用碘片**措施之**干預基準**，為可減免**甲狀腺**約定等價劑量達**一百毫西弗**以上。



核子事故民眾防護行動規範(2/2)

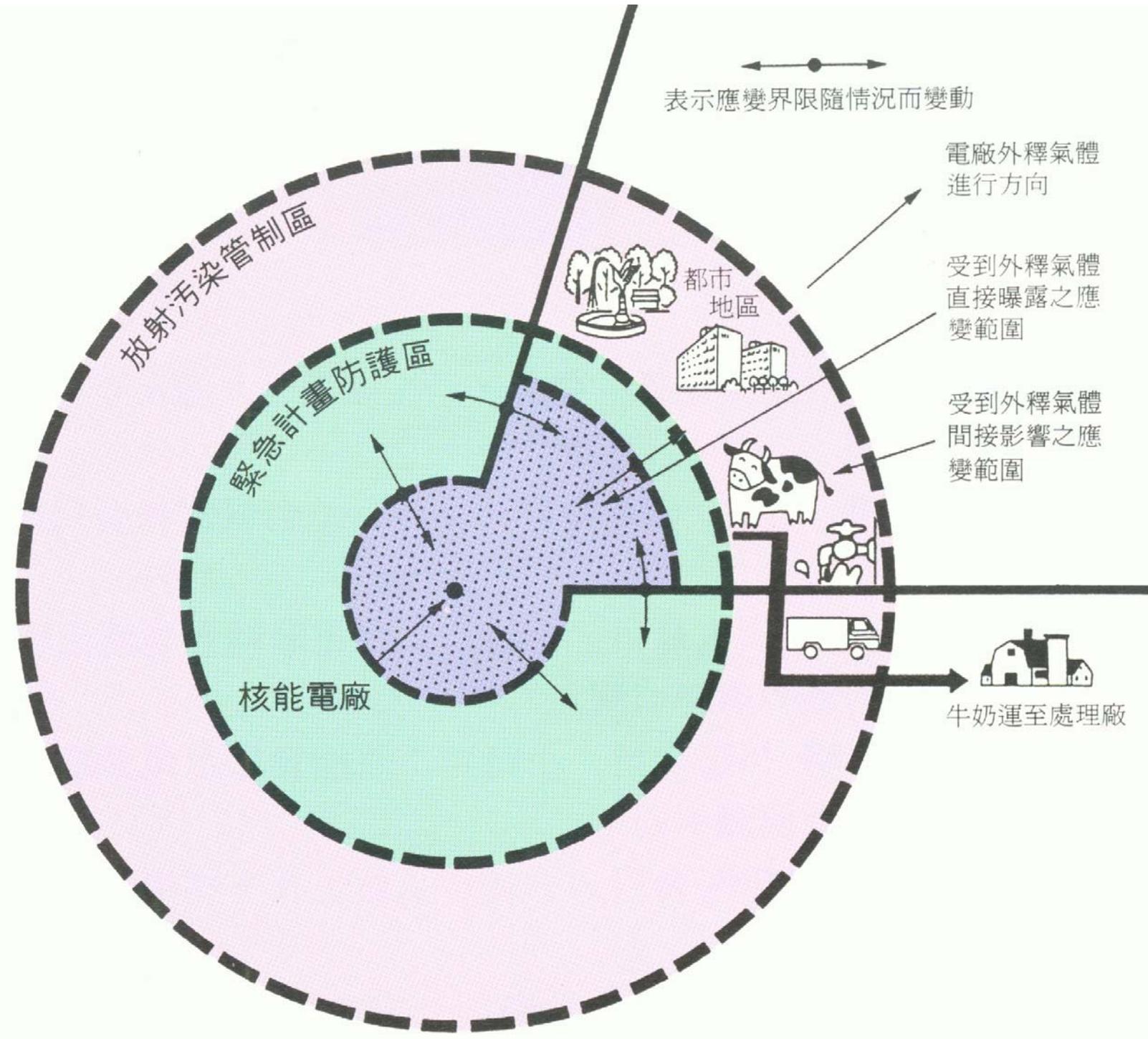
- 第8點 核子事故發生後，**食物及飲水管制之行動基準**(指採行防護措施所依據之活度濃度或輻射劑量率)，規定如附表。
- 第9點 核子事故發生後應考慮採行**暫時移居**措施之**干預基準**，為**三十天**之預期輻射劑量達**三十毫西弗**以上；移居後應考慮**終止暫時移居**措施之**干預基準**，為**三十天**之預期輻射劑量在**十毫西弗**以下。
- 第10點 核子事故發生後應考慮採行**永久遷離**措施之**干預基準**，為**終生**之預期輻射劑量達**一西弗**以上或**暫時移居**達一年以上。

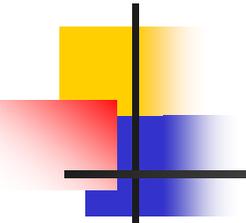


核子事故分類與應變及通報辦法

核子事故依其可能之影響程度，分類如下：

- 一. **緊急戒備**事故：發生核子反應器設施安全狀況顯著劣化或有發生之虞，而尚**不須**執行核子事故民眾防護行動者。
- 二. **廠區緊急**事故：發生核子反應器設施安全功能重大失效或有發生之虞，而**可能**須執行核子事故民眾防護行動者。
- 三. **全面緊急**事故：發生核子反應器設施**爐心嚴重惡化或熔損**，並可能**喪失圍阻體完整性**或有發生之虞，而**必須**執行核子事故民眾防護行動者。

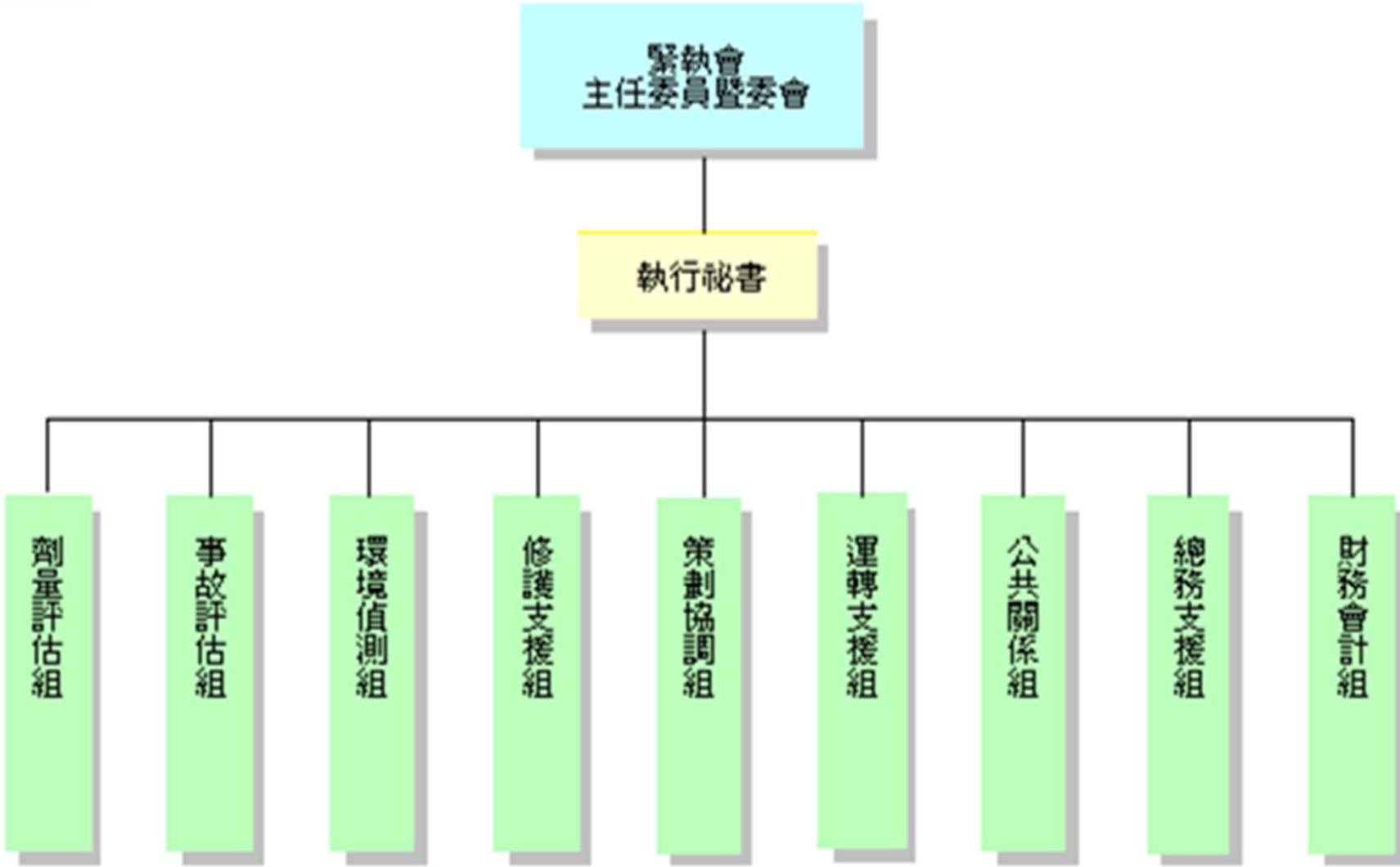




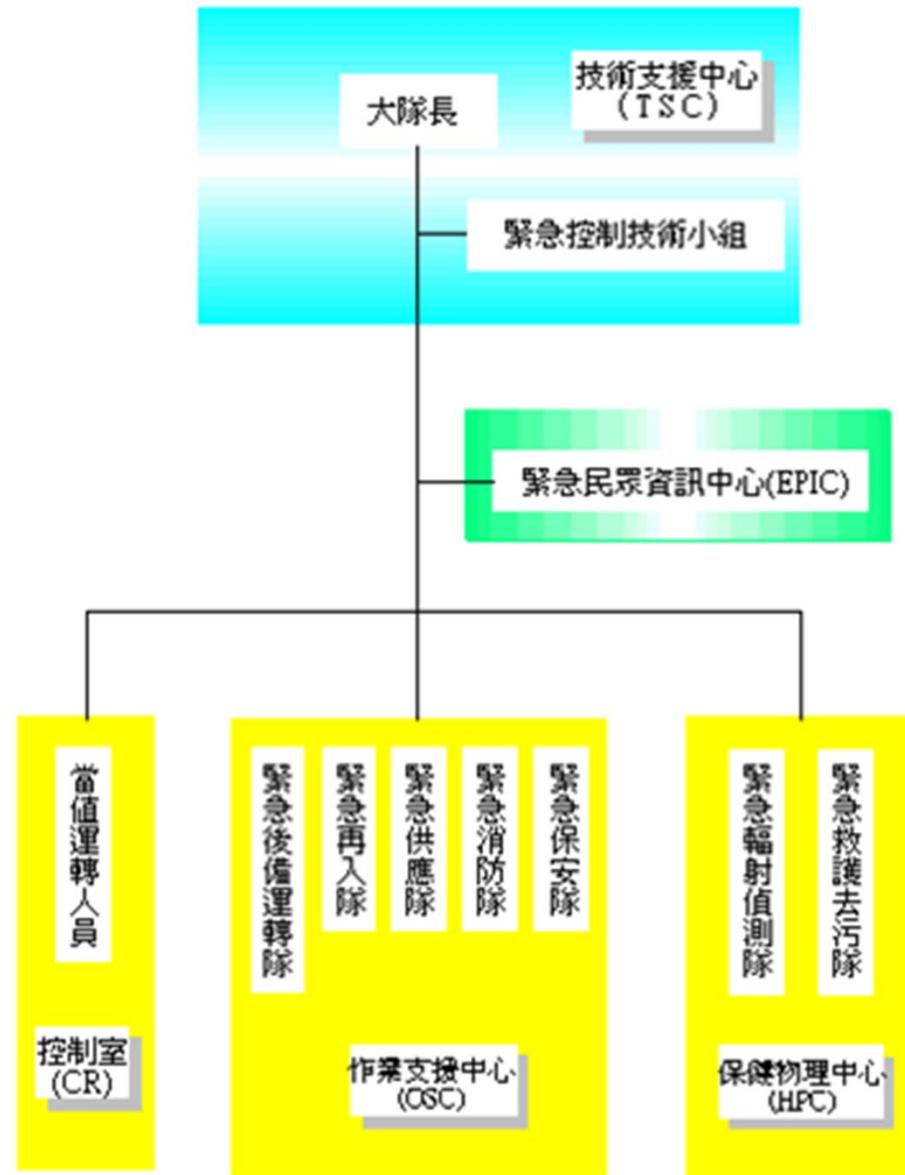
緊急應變的組織

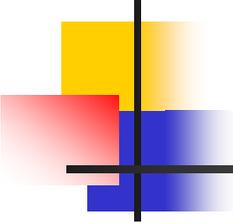
- 緊急應變的組織分為**廠內**與**廠外**的組織，分由**台電**與**全國核子事故處理委員會**負責。
- **廠內**的緊急應變組織：
由各電廠的緊急控制大隊與總公司的「**緊急計畫執行委員會**」組成，提供緊急應變的支援人力。
- **廠外**的緊急應變組織：
「**全國核子事故處理委員會**」由政府各有關機構(如原能會、國防部、內政部等)首長組成，下分**近廠指揮協調中心**、**救災指揮中心**、**支援中心**與**新聞發佈室**等四個單位。

台電組成的緊急應變組織



廠內的緊急應變組織

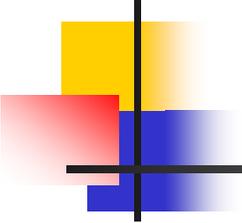




全國核子事故處理委員會

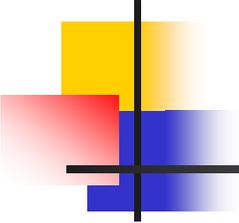
統籌負責緊急計畫，下設三個作業中心：

- 一. **近廠指揮**中心：負責事故研判，輻射偵測與劑量預估等。
- 二. **救災指揮**中心：負責指揮及通知緊急計畫防護區的民眾應採取的行動，並執行疏散收容民眾與供應食物及醫療等任務。
- 三. **支援**中心：負責緊急計畫防護區的警戒，交通管制，協助疏運民眾及支援復原作業等。



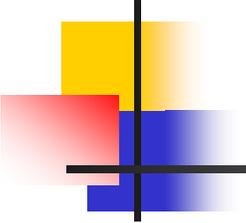
核子事故應變措施

- 室內應變措施
- 室外應變措施
- 服用碘片
- 疏散
- 政府措施



一般原則

- 視輻射劑量採取不同的防護行動(掩蔽、服用碘片、疏散收容、食物及飲水管制、暫時移居、地區進出管制、污染清除、醫療救護等措施)
- 注意中央災害應變中心發布的消息
- 遠離事故地點
- 室內優於室外
- 注意雨水、飲食的可能輻射污染



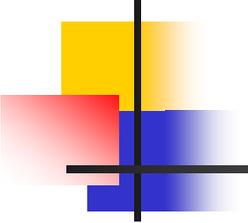
服用碘片

- 自我防護掩蔽時，**中央災害應變中心**會根據事故的情況下達服用碘片命令。
- 服用碘片的目的是讓人體先吸收穩定碘，以避免放射性碘在體內聚積。
- 服用時機：放射性碘外釋前或外釋後6小時內，超過6小時其保護功能將遞減。
- 發放量：每人兩日份預先發予民眾保管。另兩日份集中保管，視需要再發予民眾。

碘片服用量

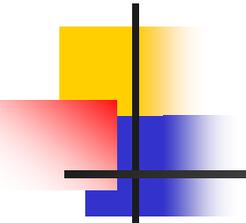
- 成人130毫克/每日一錠、孕婦和3~12歲65毫克/每日半錠、3歲以下32.5毫克/每日四分之一錠





服用碘片注意事項

- 碘過敏者不可服用此藥。
- 最長持續服用時間不得超過十日。
- 應存放於兒童觸摸不到的地點。
- 兒童服用方法之建議：可磨成粉末，拌合橘子汁、糖汁、果醬服用。
- 甲狀腺患者、孕婦及新生兒服用時，請遵照醫師指示。

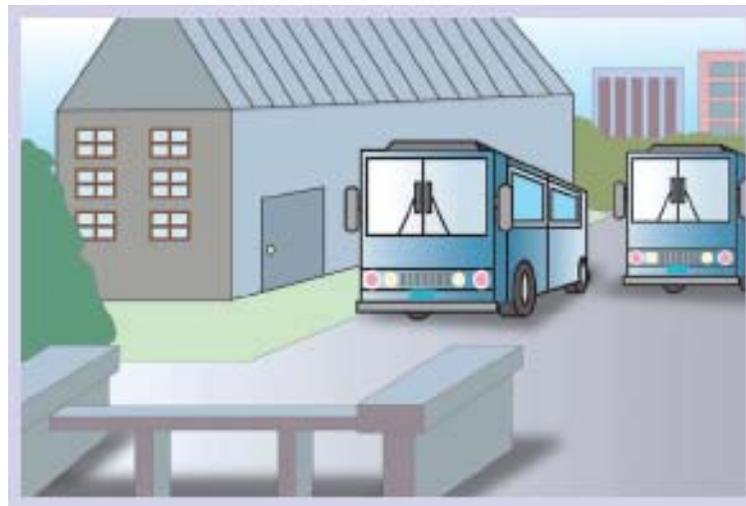


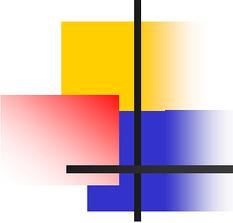
疏散前注意事項

- 如果核事故狀況持續惡化，需要疏散時，政府會透過電視、電台持續播放有關疏散通知，廣播車也會在街頭巡迴廣播通知。
- 接獲有關疏散指示時，應：
 - 關閉所有**電源**與**瓦斯**。
 - 攜帶個人**證件**、**藥物**和輕便物品。
 - 僅快到住家附近的**集結點**集合，再搭乘政府的專車到**收容站**。

疏散前注意事項

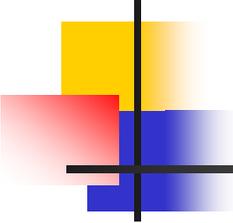
◎關閉所有電源和瓦斯





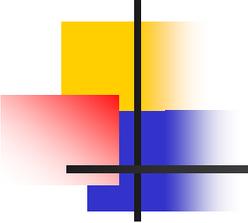
疏散注意事項

- 不是所有核子事故都需要疏散，而是要等到政府通知疏散，才開始行動。
- 在疏散過程中，如果有任何需要，請聯絡村里長或派出所。
- 最好不要自行開車前往集結點或收容站，以免造成交通混亂。
- 如果是觀光客，有交通工具者，請即離開事故地區或請遵循憲警人員疏散指示。



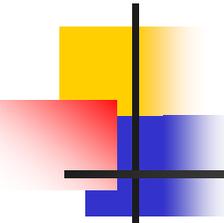
政府措施

- 畫分北部與南部三級輻傷急救責任醫院，其中，一級輻傷醫療由台電公司指定；二級、三級輻傷醫療由衛生署輔導成立。
- 執行核安演習：我國三座核能發電廠除固定每年定期舉行廠內演習外，並輪流舉辦核安演習，展現各單位緊急應變平時整備與動員配合的能力，並由學者、專家與稽核及考評；原能會以督導立場，全程派員協助各應變中心實施演習。



核安演習成效

- 核子事故緊急應變作業法制化。
- 設置中央災害應變中心前進指揮所，就近監控指揮。
- 執行嚴重核子事故程序演練。
- 民眾防護以居家掩蔽為主，疏散為輔。
- 加強應變整備之教育訓練及宣導。
- 展示緊急醫療網、輻傷責任醫院救護能量。
- 強化核電廠緊急應變作業之臨場演練。
- 加強核電廠緊急應變(定期、不預警)整備視察。



緊急疏散規劃

- 為了讓民眾迅速地疏散到安全的地區，在核電廠附近，政府已委託專家學者根據天候狀況、人口分佈、道路狀況等因素，規劃出**緊急疏散路線**，其中包含住家附近的**集結點**、**收容站**的位置，需要疏散時，能夠在最短的時間內，安全疏散所有民眾。
- 內容：民眾疏散規劃表、民眾疏散收容規劃表、緊急收容站(另含救濟站與各分站)。

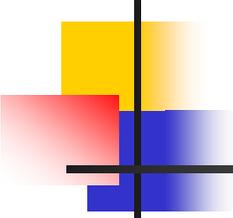


- 核能三廠
- ↑ 收容站
- ⊙ 集結點
- 疏散路線

- 1 恆春國小南灣分校
- 2 大光國小
- 3 水泉國小龍泉分校
- 4 水泉國小
- 5 山海國小
- 6 恆春國中
- 7 恆春工商
- 8 墾丁國小
- 9 德和里社區活動中心

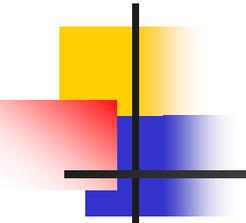


墾丁國小
鵝鑾分校



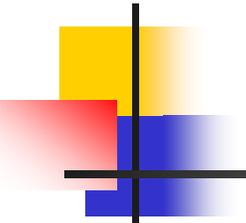
電源開發考量因素

1. 符合能源多元化政策--採用水力、燃油、燃煤、燃氣及核能發電，並積極開發再生能源。
2. 確保能源供應安全--力求能源來源分散，避免受外力影響。
3. 維持合理備用容量--維持20~25%備用容量率。
4. 最佳發電機型組合--分別提供基載、中載及尖峰負載電力需求。
5. 兼顧環境保護與景觀規劃--辦理環境影響評估，降低對環境之影響。
6. 尋求區域供電平衡--避免南電北送減少輸電損失，增進系統穩定。



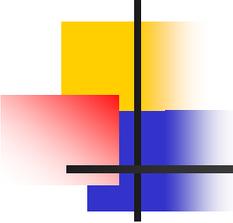
核能發電的優點

1. 運輸--核燃料運輸方便、迅速。即使海域遭封鎖，亦可由空中運輸。
2. 儲存--儲存佔地小、儲量大。
3. 基載電力--核能體積小、發電成本低，方便作為系統的基載電力(一座核三廠發電量超過40座石門水庫)。
4. 能源多元化 --石油危機中曾付出慘痛代價，能分散能源風險，做合理負載組合，以享受充分而穩定的電力。
5. 乾淨的能源--不會排放硫氧化物及氮氧化物，故無「酸雨問題」，不會排放CO₂，可減輕「溫室效應」。



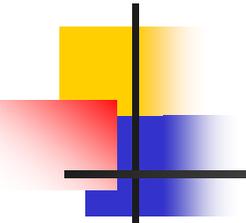
核能發電－經濟考量 (1/2)

- Japan's trade deficit surged to a record \$112 billion in 2013 as **the shutdown of nuclear power plants** swelled the nation's **energy import bill**.
- http://finance.yahoo.com/news/japan-posts-record-112b-trade-deficit-2013-005712606--finance.html;_ylt=A8tUwYx0XxxT4xYASjBr1gt.;;_ylu=X3oDMTE2dT F2MmVrBHNIYwNzcgRwb3MDMwRjb2xvA3R3MQR2dGIkA1ZJUFRXNjNfNTE0



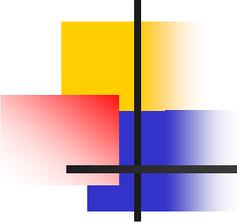
核能發電－經濟考量 (2/2)

- German energy giant RWE has taken a massive loss of €2.8 billion – it's first loss in 60 years – after admitting it got its strategy wrong, and should have focused more on **renewable and distributed energy** rather than **conventional fossil fuels**.
- <http://cleantechnica.com/2014/03/07/germany-fossil-fuel-industry-decline-unstoppable/#DqdOTu8l5MFuOsGg.99>



核能發電—環境考量

- German Village Resists Plans to Strip It Away for the Coal Underneath.
- http://www.nytimes.com/2014/02/19/world/europe/german-village-resists-plans-to-strip-it-away-for-the-coal-underneath.html?_r=0
- Nuclear power is the primary source of energy in France. In 2004, 407 TWh out of the country's total production of 541 TWh of electricity was from it (75%).



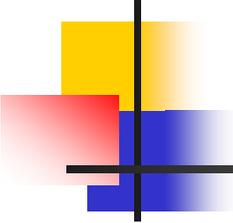
核能發電—兩難抉擇

- 日閣員決議新能源案 確定核電再啟動方針

- <http://tw.news.yahoo.com/%E6%97%A5%E9%96%A3%E5%93%A1%E6%B1%BA%E8%AD%B0%E6%96%B0%E8%83%BD%E6%BA%90%E6%A1%88-%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E6%A0%B8%E9%9B%BB%E5%86%8D%E5%95%9F%E5%8B%95%E6%96%B9%E9%87%9D-025741379.html>

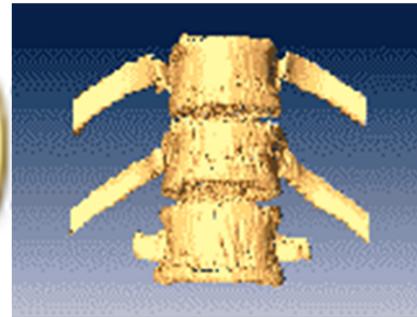
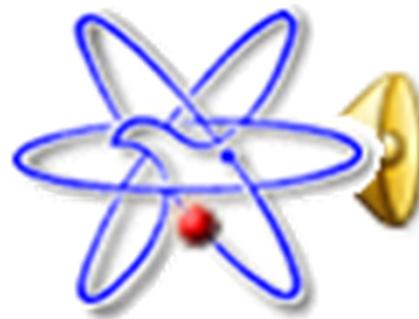
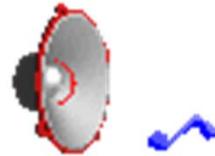
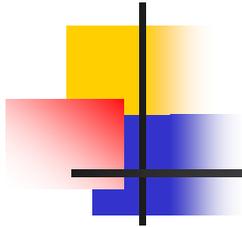
- 英國減碳要蓋新核電廠

- <http://tw.news.yahoo.com/%E8%8B%B1%E5%9C%8B%E6%B8%9B%E7%A2%B3%E8%A6%81%E8%93%8B%E6%96%B0%E6%A0%B8%E9%9B%BB%E5%BB%A0-%E9%A6%AC%E8%8B%B1%E4%B9%9D%E7%9B%BC%E6%B1%B2%E5%8F%96%E6%BA%9D%E9%80%9A%E7%B6%93%E9%A9%97-030709000.html>



結語

- 日本核爆
- 核電廠輻射外洩案例
- 核電廠種類與安全設計
- 核子事故相關法規
- 核電廠存廢分析



Thanks for your attention