



# 日本福島第一核電廠核災事件

1. 核電廠設計
2. 核災事故進展
3. 用過燃料棒儲存槽

台灣環境保護聯盟翻譯

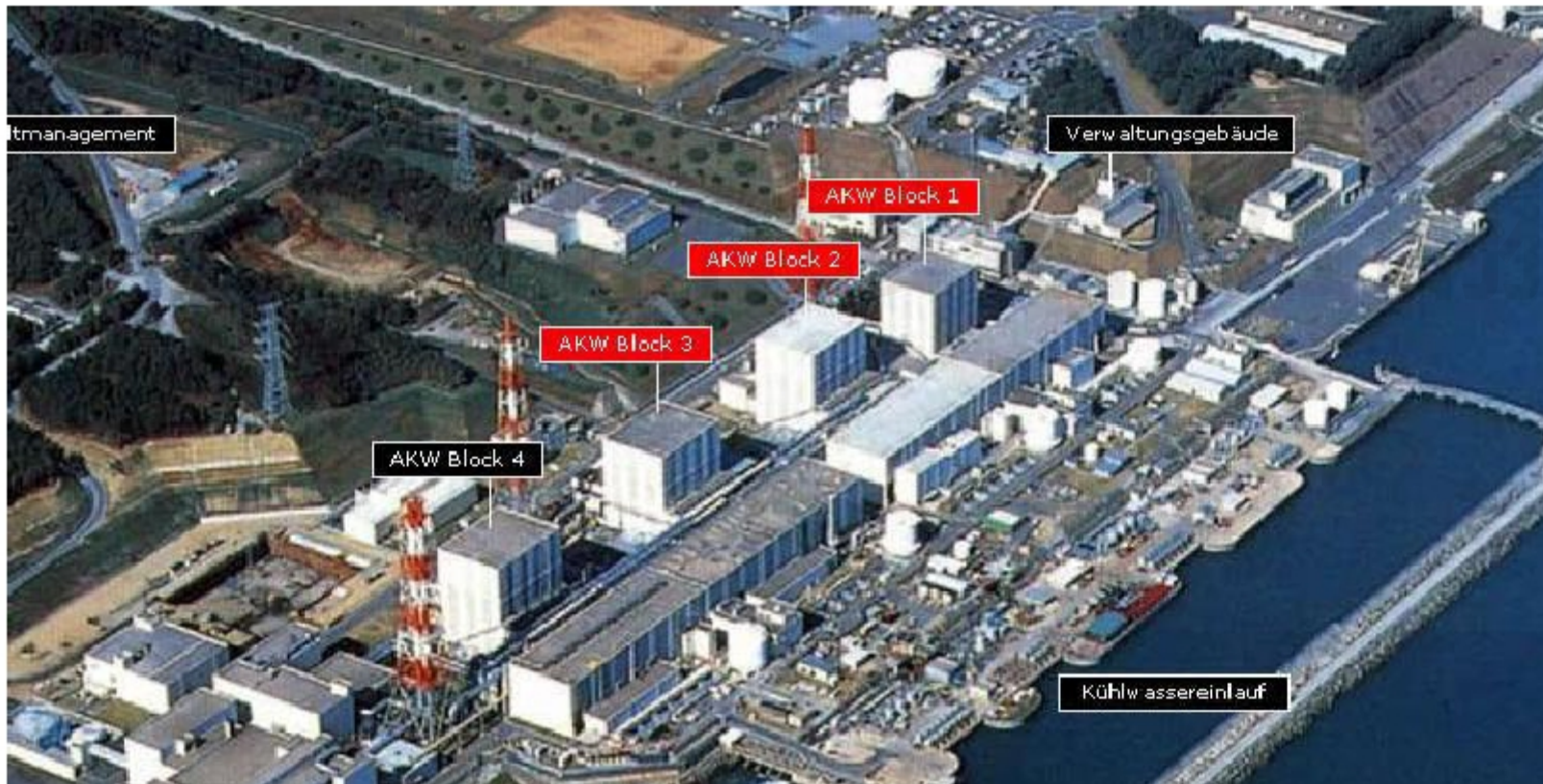
Matthias Braun  
PEPA4-G, AREVA-NP GmbH  
Matthias.Braun@AREVA.com

# 日本福島第一核電廠核災事件

## 1.核電廠設計

### ▶ 日本福島第一核電廠

- ◆ 1號機組-奇異公司Mark I 沸水式反應爐(439MW=43.9萬千瓦), 1971年開始運轉
- ◆ 2-4號機組 奇異公司Mark I 沸水式反應爐(760MW= 76萬千瓦), 1974年開始運轉

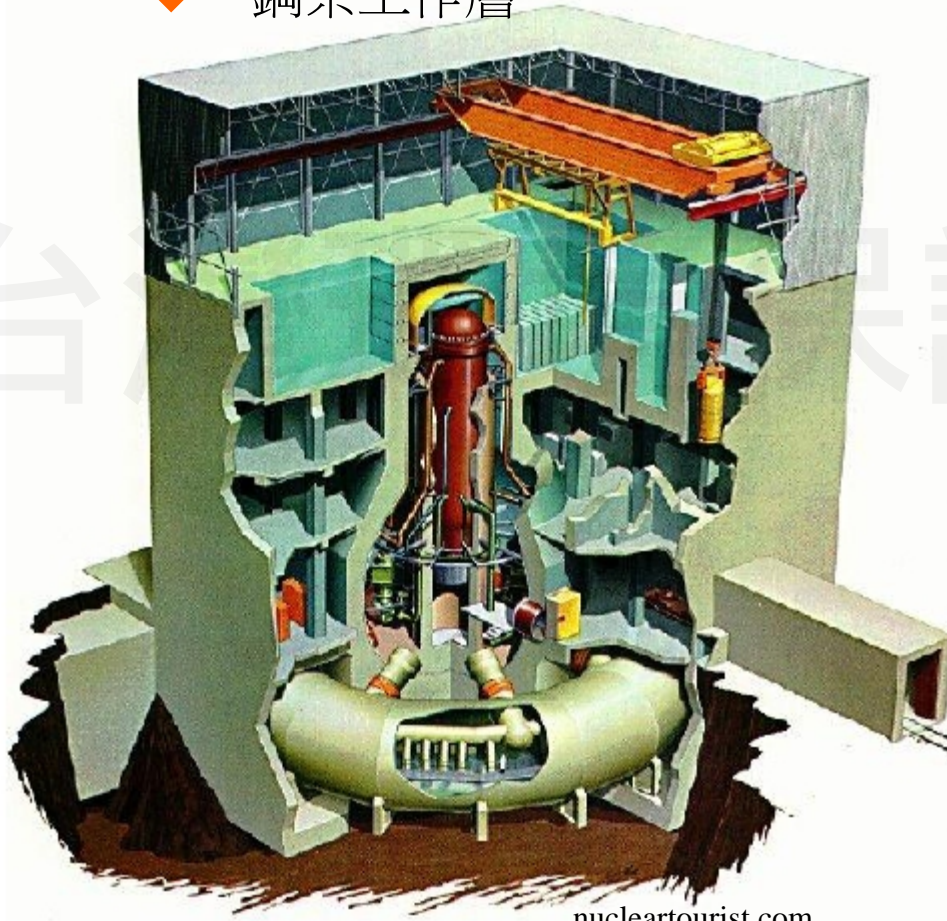


# 日本福島第一核電廠核災事件

## 1.核電廠設計

### ▶ 建築結構

- ◆ 混凝土建築物
- ◆ 鋼架工作層



### ▶ 圍阻體

- ◆ 梨形乾井
- ◆ 圓環型濕井



en.wikipedia.org/wiki/Browns\_Ferry\_Nuclear\_Power\_Plant

# 日本福島第一核電廠核災事件

## 1.核電廠設計

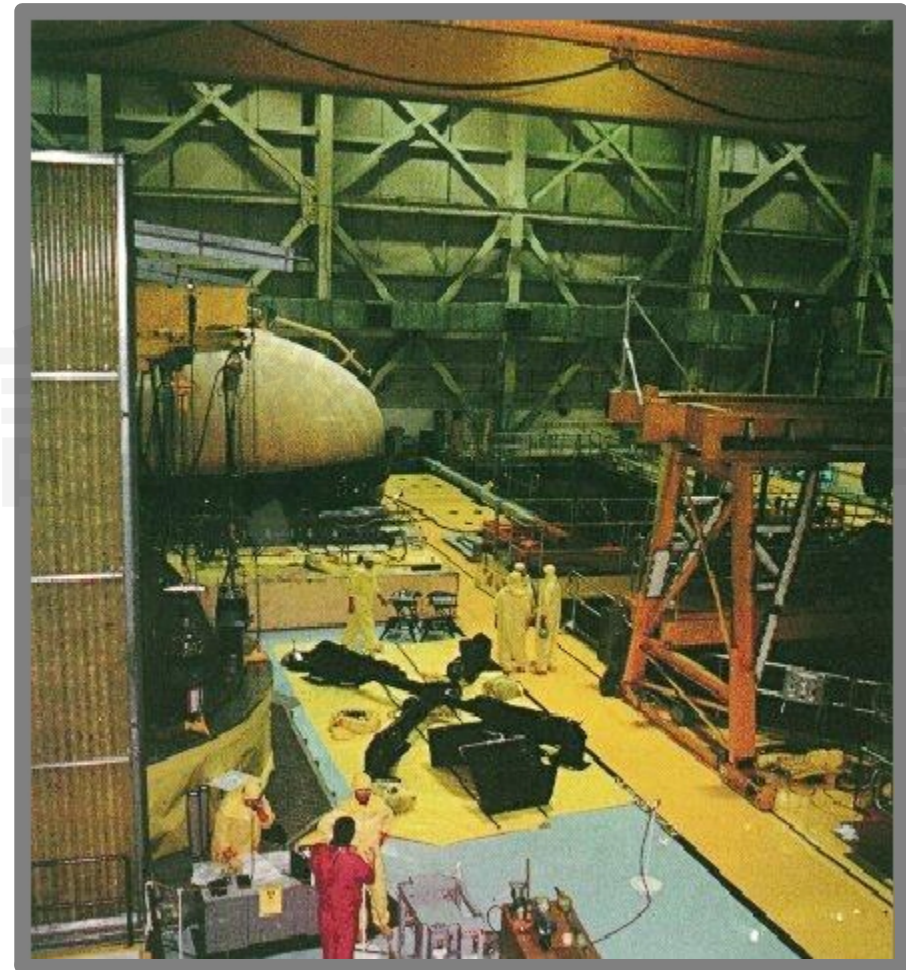
### ▶ 工作層



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 1.核電廠設計

### ▶ 提起圍阻體蓋



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 1.核電廠設計

▶ 核反應爐工作層  
(鋼鐵結構)

▶ 反應爐混凝土外殼建築  
(2次圍阻體)

▶ 反應爐心

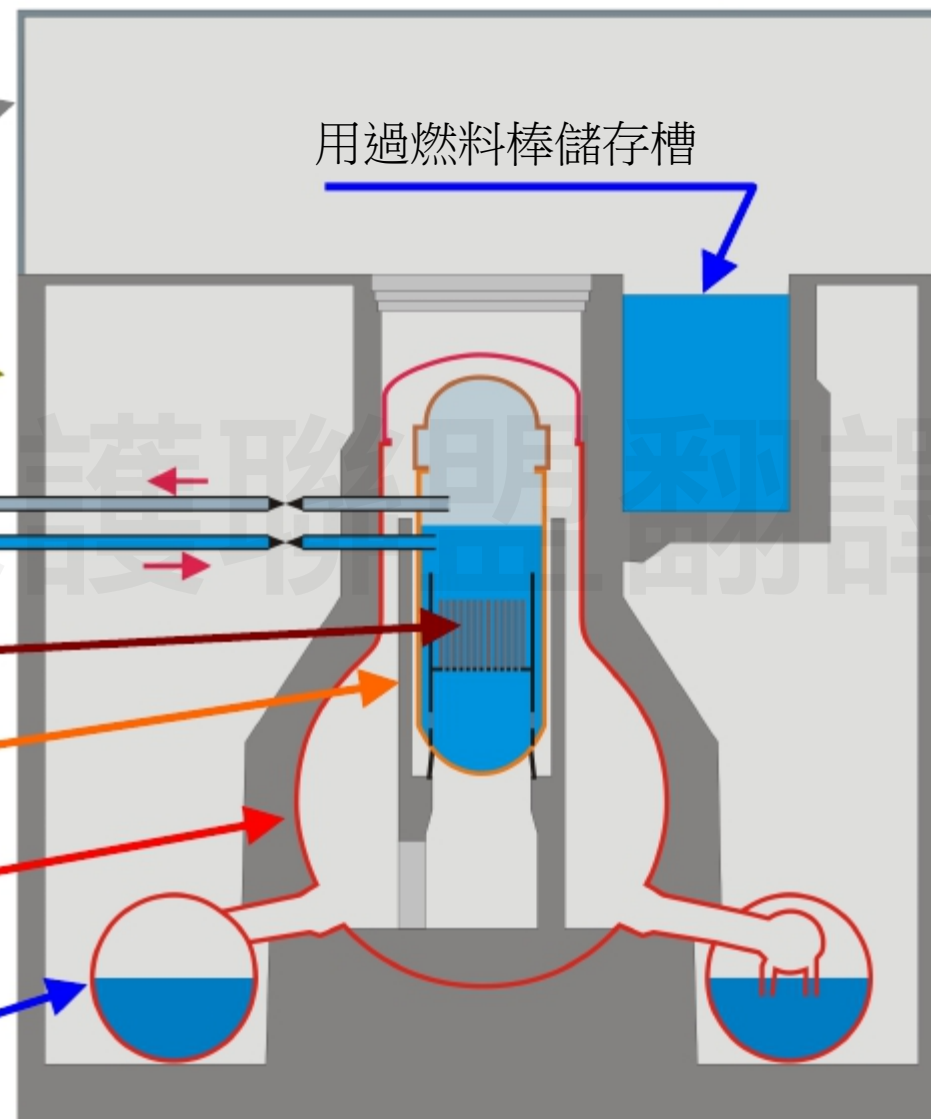
▶ 核電廠機組反應爐壓力槽

▶ 圍阻體(乾井)

▶ 圍阻體(濕井)  
冷凝室

蒸汽管路  
主要給水

用過燃料棒儲存槽



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

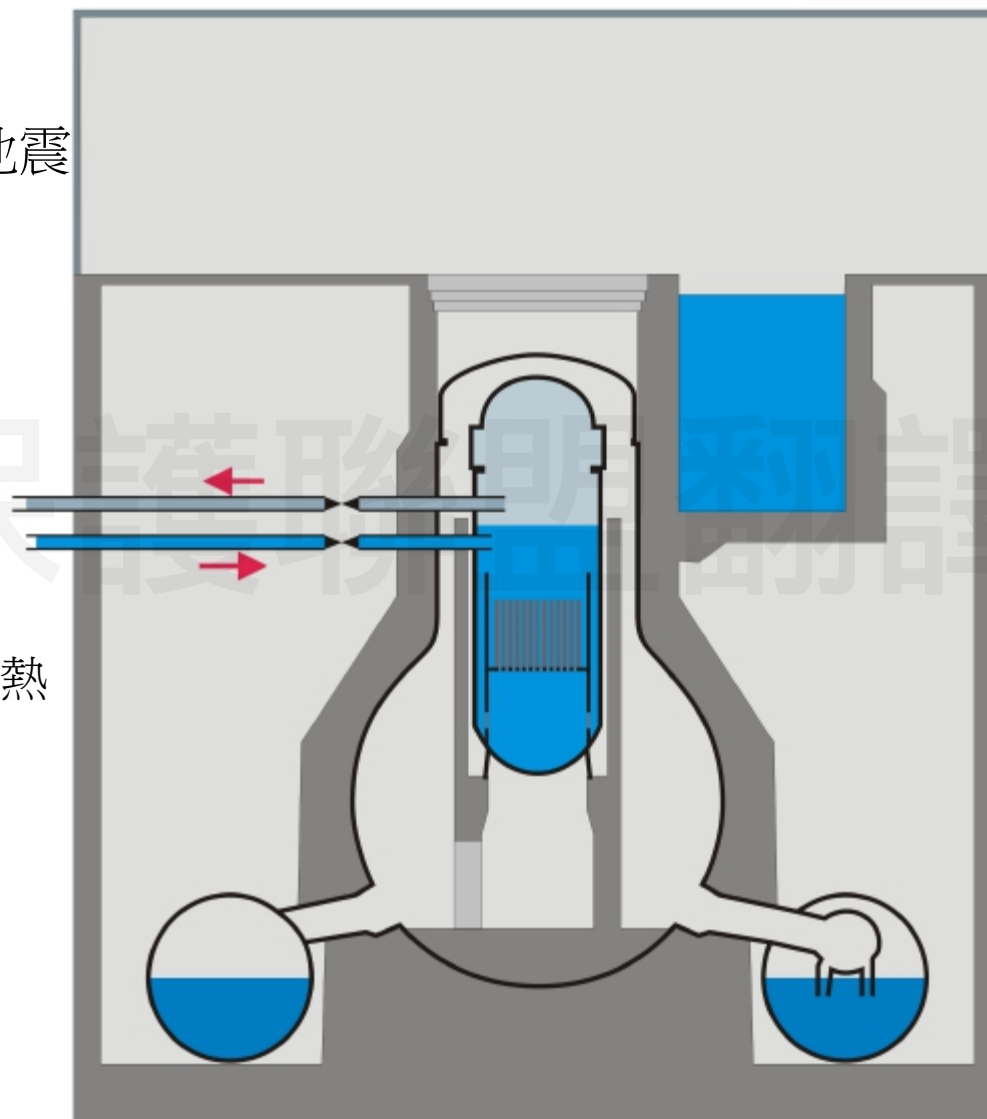
▶ 2011/3/11 日本時間14:46 發生地震

- ◆ 規模：芮氏9級
- ◆ 地震日本北部電力網絡中斷
- ◆ 核反應爐本身完整

▶ 反應爐急停

- ◆ 鈾分裂發電停止
- ◆ 核分裂產物放射性衰變繼續放熱

- 急停後有 6%
- 一天後有 1%
- 五天後有 0.5%

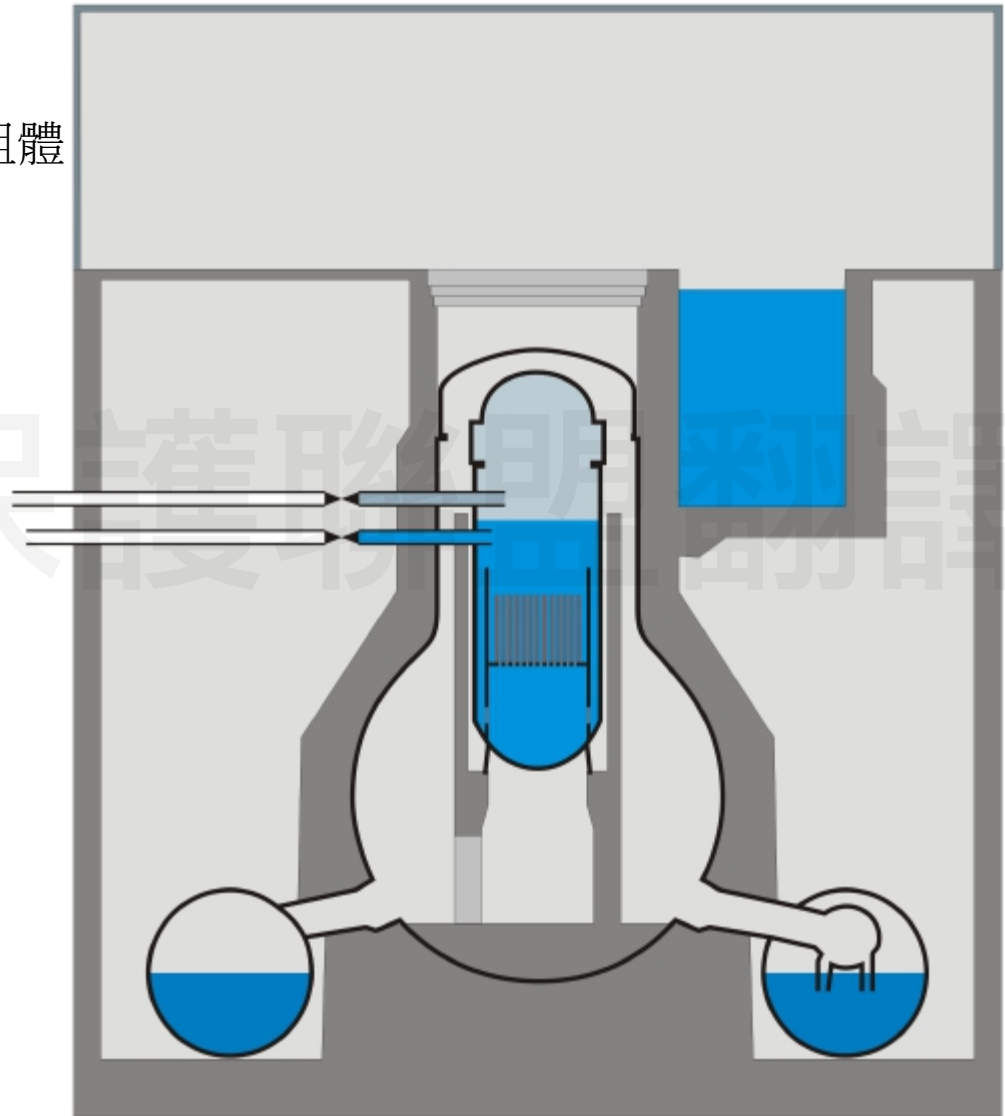




# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

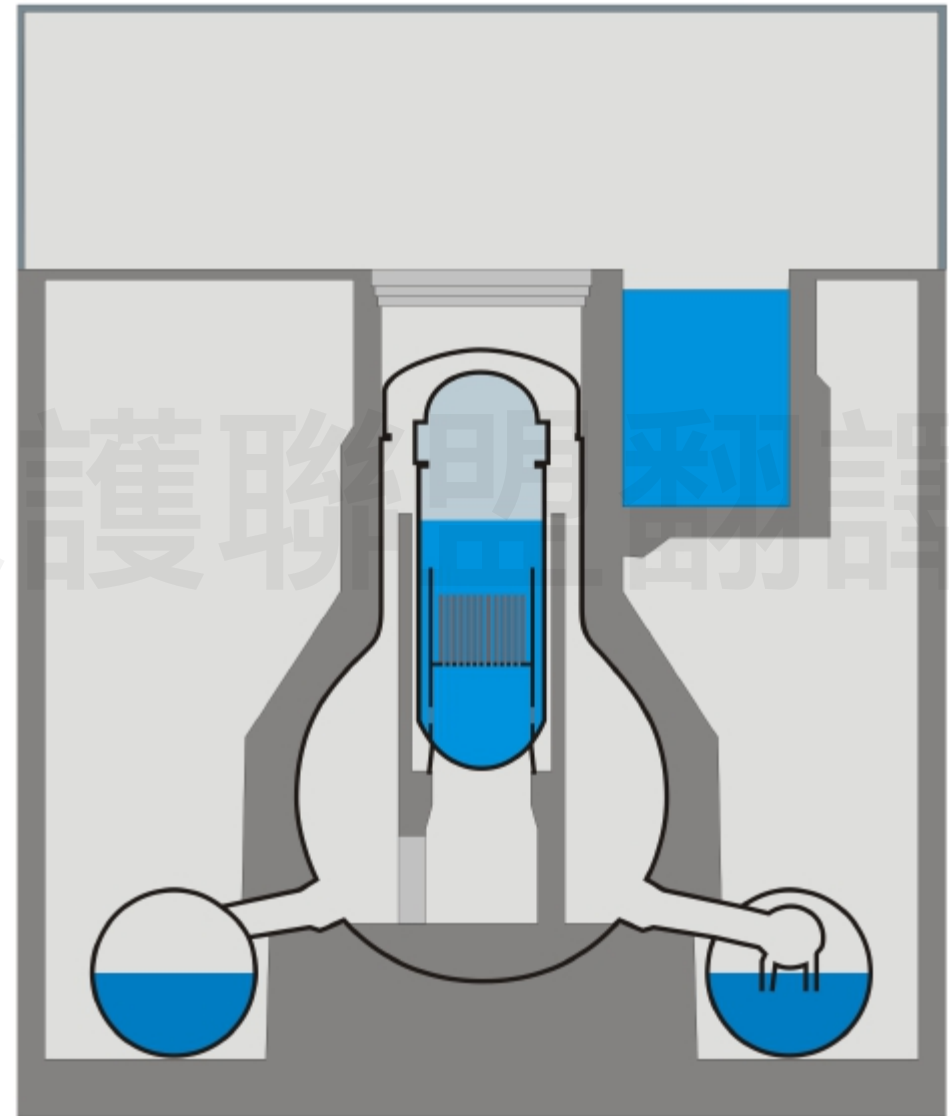
- ▶ 圍阻體隔離
  - ◆ 隔絕所有與安全無關物進入圍阻體
  - ◆ 如果圍阻體隔離產生功效，初始即釋放大量核分裂產物是極不可能的。
- ▶ 啟動柴油發電機
  - ◆ 由緊急爐心冷卻系統供水
- ▶ 核電廠會在穩定安全狀態



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

- ▶ 2011年3月11日 日本時間15:41  
海嘯襲擊核電廠
  - ◆ 核電廠設計可承受6.5公尺海嘯
  - ◆ 實際海嘯高度超過7公尺
  - ◆ 柴油發電機和(/或) 核電廠緊急冷卻設施淹沒
- ▶ 電廠全黑
  - ◆ 失去電力供應
  - ◆ 只有電池作用
  - ◆ 只一座緊急爐心冷卻系統運作，其餘全失靈



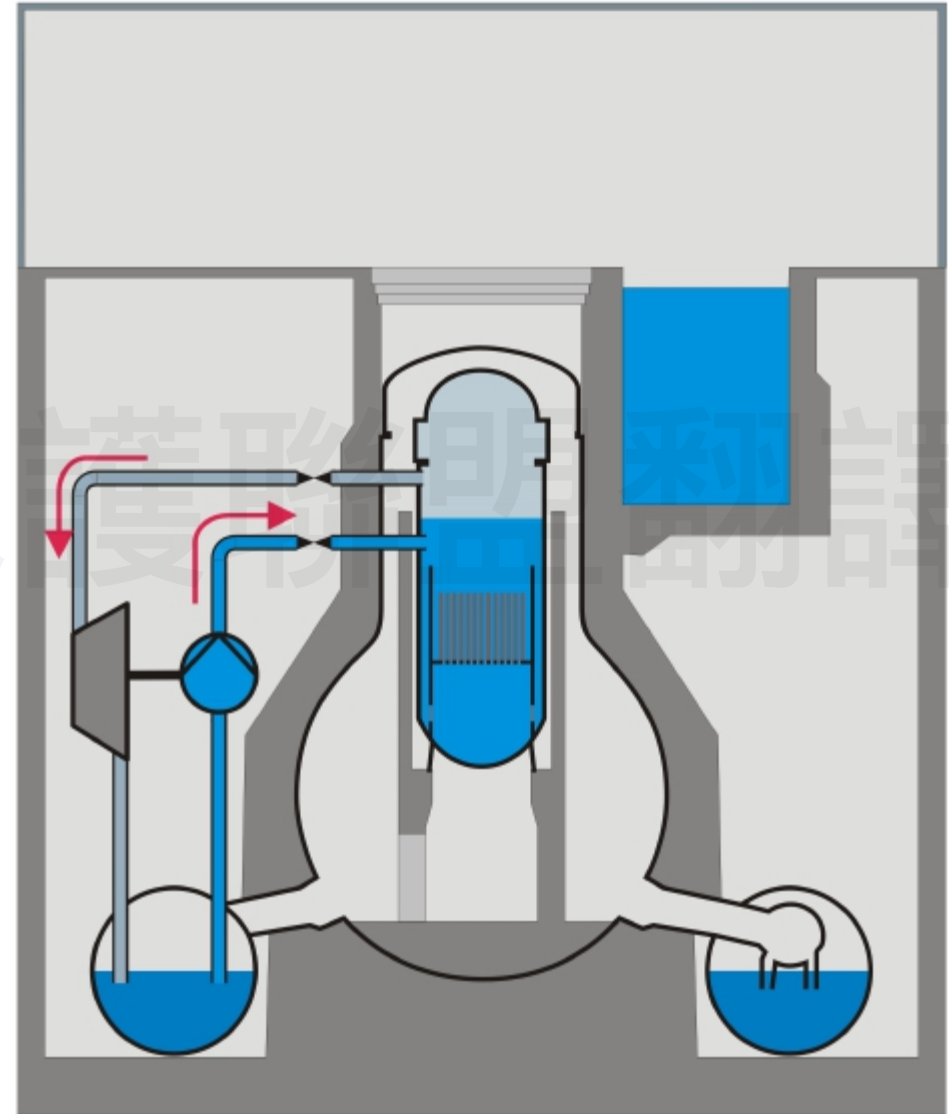
# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

### ▶ 核反應爐心隔離馬達依舊可作用

- ◆ 反應爐蒸氣驅動渦輪機
- ◆ 蒸氣在溼井內凝結
- ◆ 渦輪機帶動馬達
- ◆ 溼井的水被抽進反應爐內
- ◆ 需要
  - 電池
  - 溼井內溫度必須低於100度C

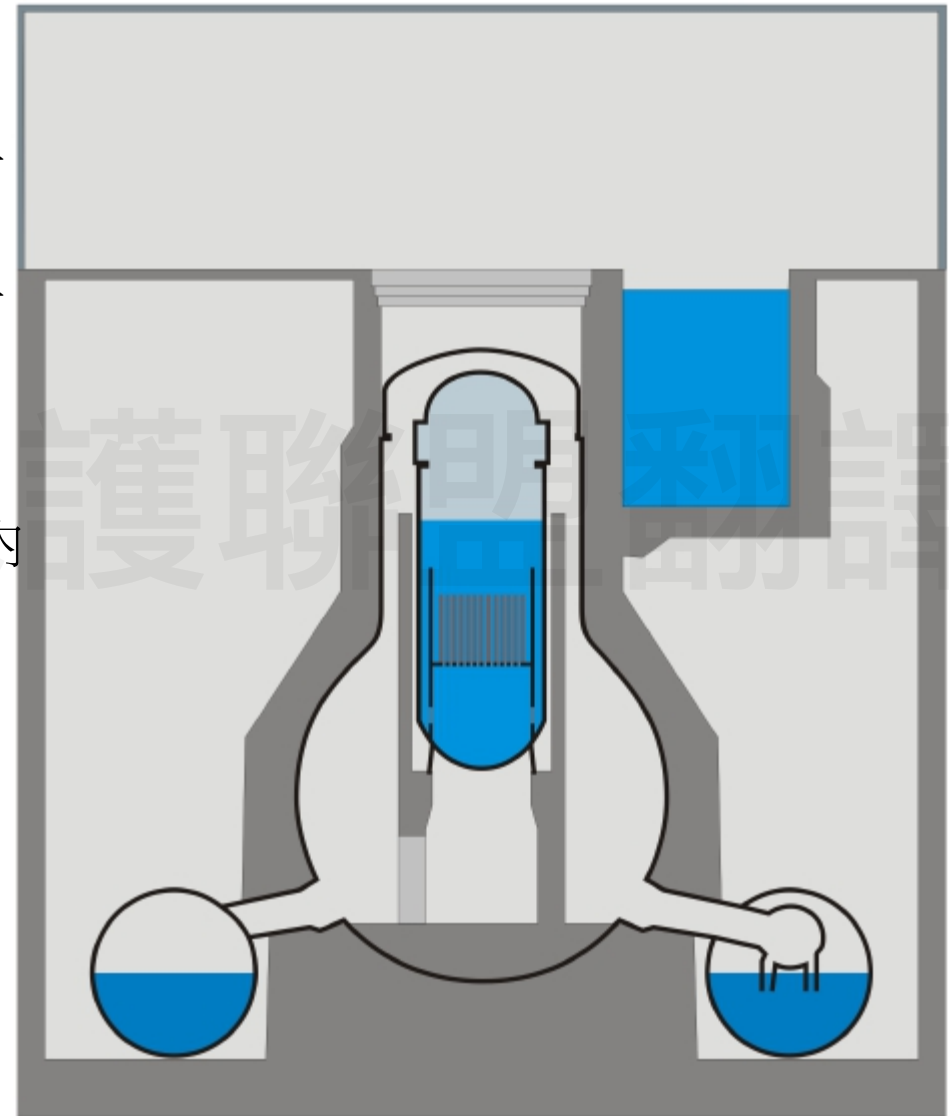
### ▶ 由於建築體無法散熱，爐心隔離馬達不能無限地工作



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

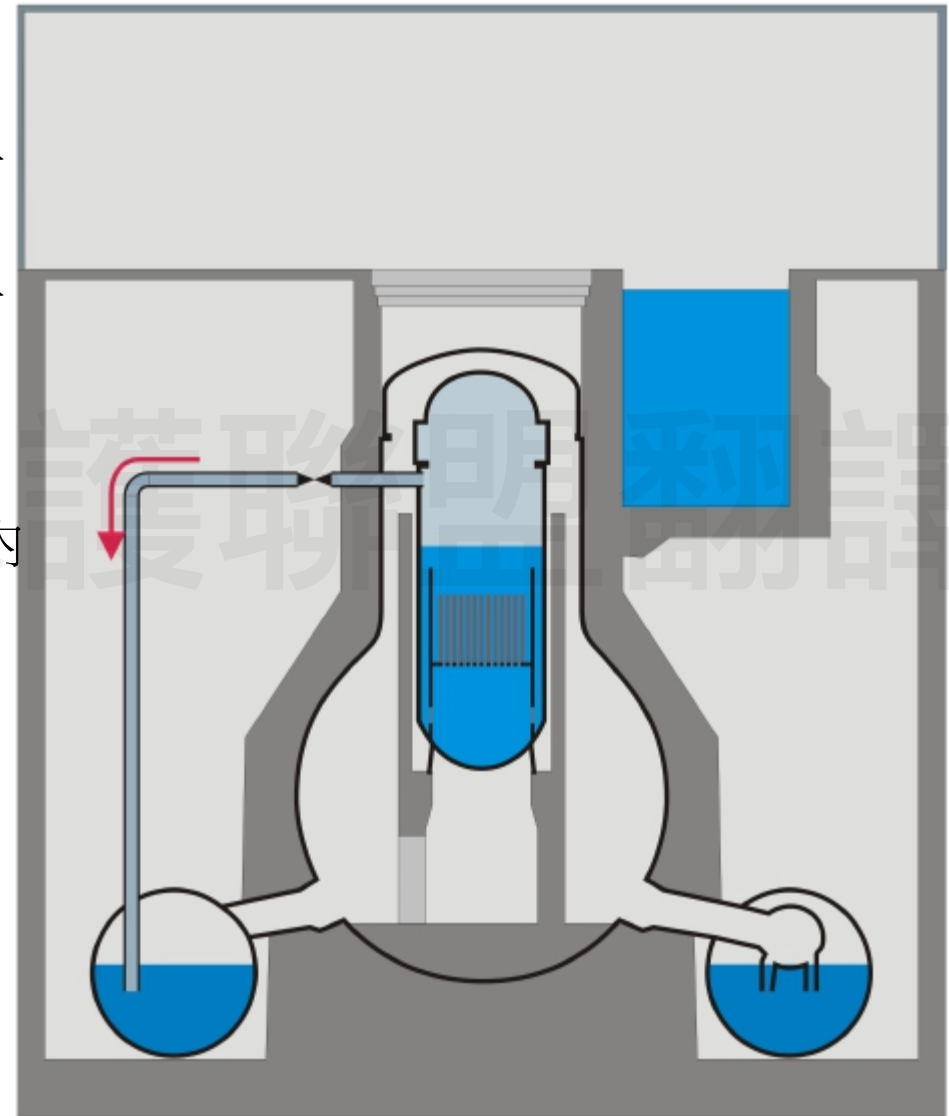
- ▶ 反應爐心隔離泵停止
  - ◆ 3月11日 日本時間 16:36 1號機組 (電池耗盡)
  - ◆ 3月14日 日本時間 13:25 2號機組 (馬達失效)
  - ◆ 3月13日 日本時間 2:44 3號機組 (電池耗盡)
- ▶ 衰變產生的熱繼續在反應壓力槽內產生蒸汽
  - ◆ 壓力上升
- ▶ 開啟蒸汽釋壓閥
  - ◆ 將蒸汽釋入溼井
- ▶ 反應爐內水位下降..下降..下降...



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

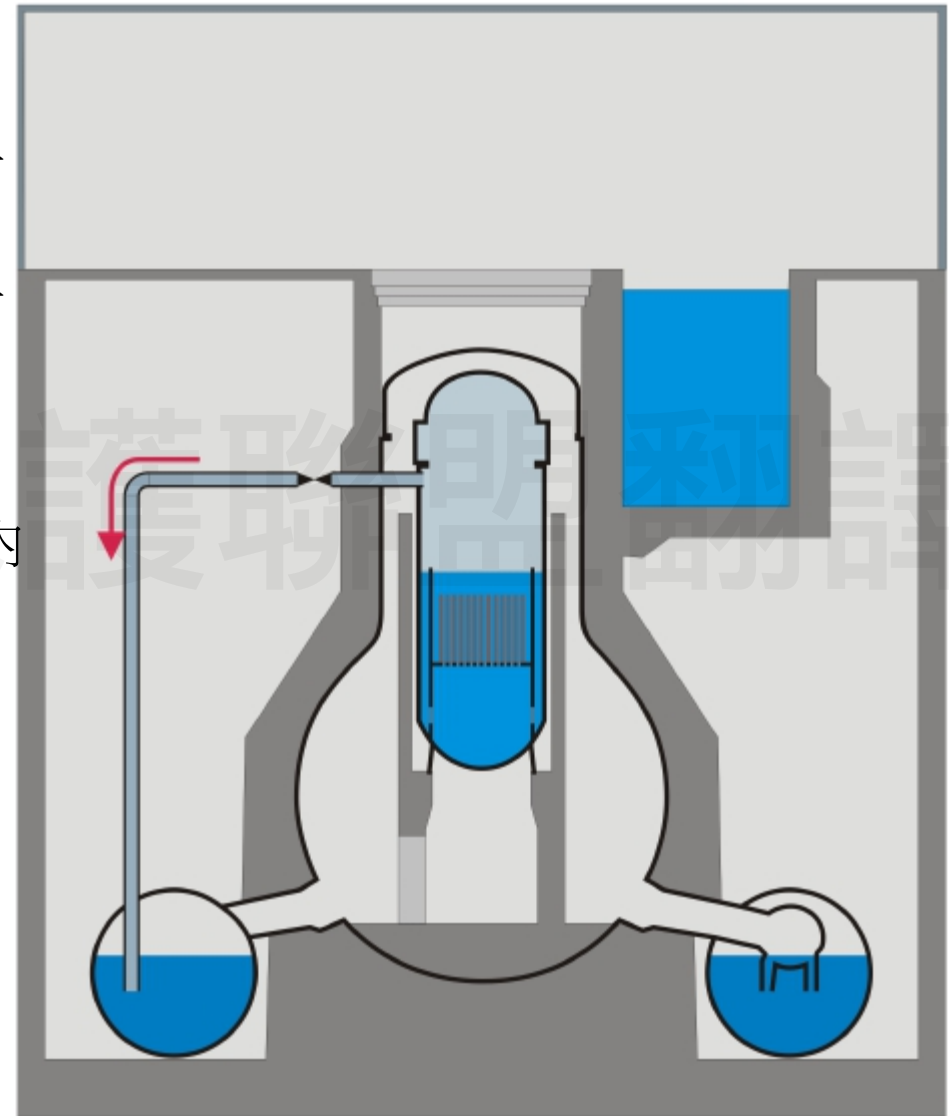
- ▶ 反應爐心隔離泵停止
  - ◆ 3月11日 日本時間 16:36 1號機組 (電池耗盡)
  - ◆ 3月14日 日本時間 13:25 2號機組 (馬達失效)
  - ◆ 3月13日 日本時間 2:44 3號機組 (電池耗盡)
- ▶ 衰變產生的熱繼續在反應壓力槽內產生蒸汽
  - ◆ 壓力上升
- ▶ 開啟蒸汽釋壓閥
  - ◆ 將蒸汽釋入溼井
- ▶ 反應爐內水位下降..下降..下降...



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

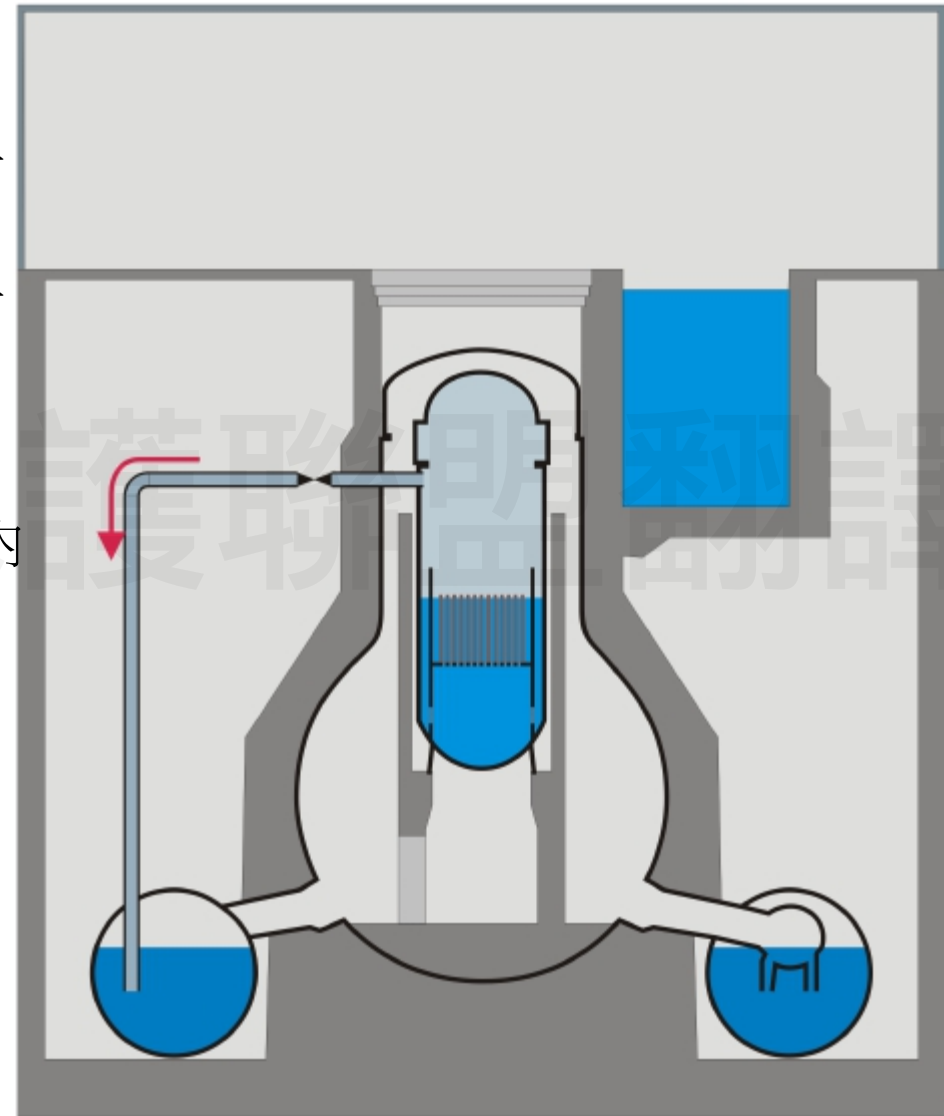
- ▶ 反應爐心隔離泵停止
  - ◆ 3月11日 日本時間 16:36 1號機組 (電池耗盡)
  - ◆ 3月14日 日本時間 13:25 2號機組 (馬達失效)
  - ◆ 3月13日 日本時間 2:44 3號機組 (電池耗盡)
- ▶ 衰變產生的熱繼續在反應壓力槽內產生蒸汽
  - ◆ 壓力上升
- ▶ 開啟蒸汽釋壓閥
  - ◆ 將蒸汽釋入溼井
- ▶ 反應爐內水位下降..下降..下降...



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

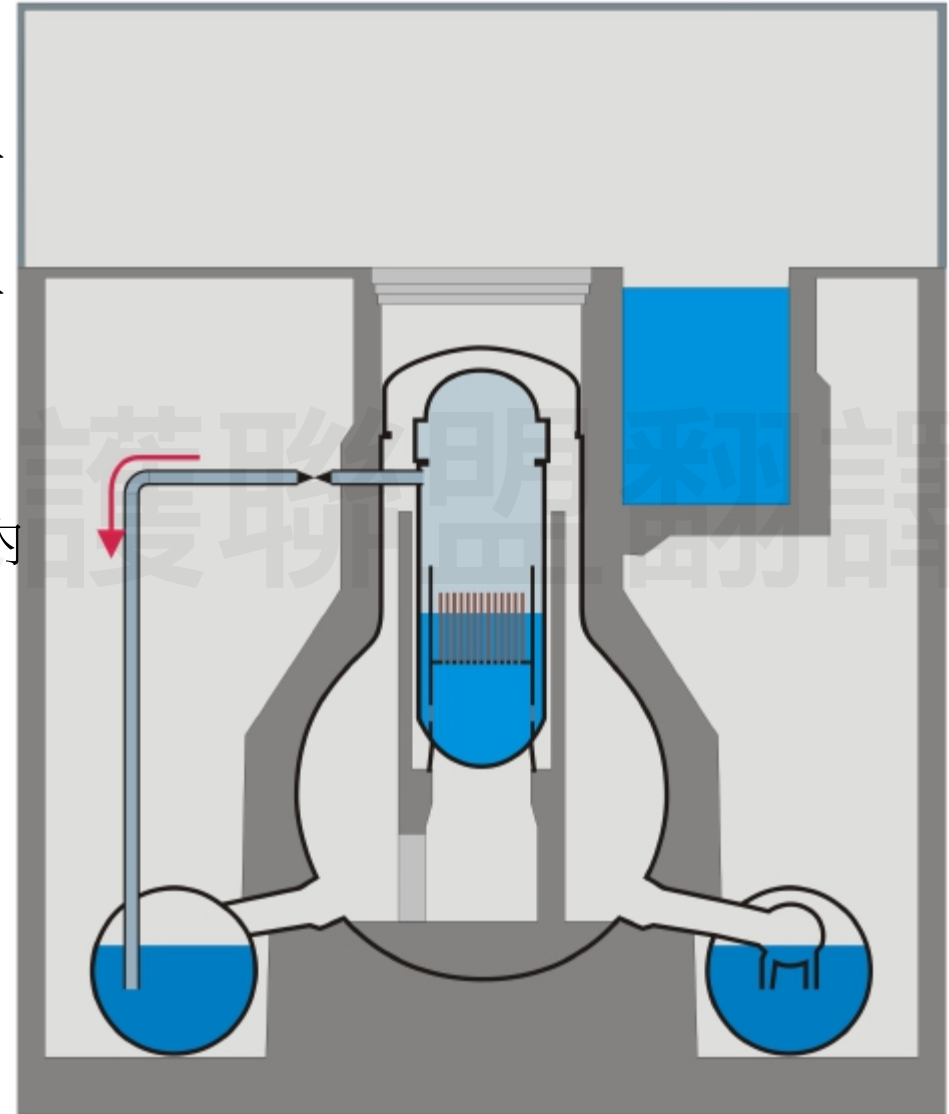
- ▶ 反應爐心隔離泵停止
  - ◆ 3月11日 日本時間 16:36 1號機組 (電池耗盡)
  - ◆ 3月14日 日本時間 13:25 2號機組 (馬達失效)
  - ◆ 3月13日 日本時間 2:44 3號機組 (電池耗盡)
- ▶ 衰變產生的熱繼續在反應壓力槽內產生蒸汽
  - ◆ 壓力上升
- ▶ 開啟蒸汽釋壓閥
  - ◆ 將蒸汽釋入溼井
- ▶ 反應爐內水位下降..下降..下降...



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

- ▶ 反應爐心隔離泵停止
  - ◆ 3月11日 日本時間 16:36 1號機組 (電池耗盡)
  - ◆ 3月14日 日本時間 13:25 2號機組 (馬達失效)
  - ◆ 3月13日 日本時間 2:44 3號機組 (電池耗盡)
- ▶ 衰變產生的熱繼續在反應壓力槽內產生蒸汽
  - ◆ 壓力上升
- ▶ 開啟蒸汽釋壓閥
  - ◆ 將蒸汽釋入溼井
- ▶ 反應爐內水位下降..下降..下降...

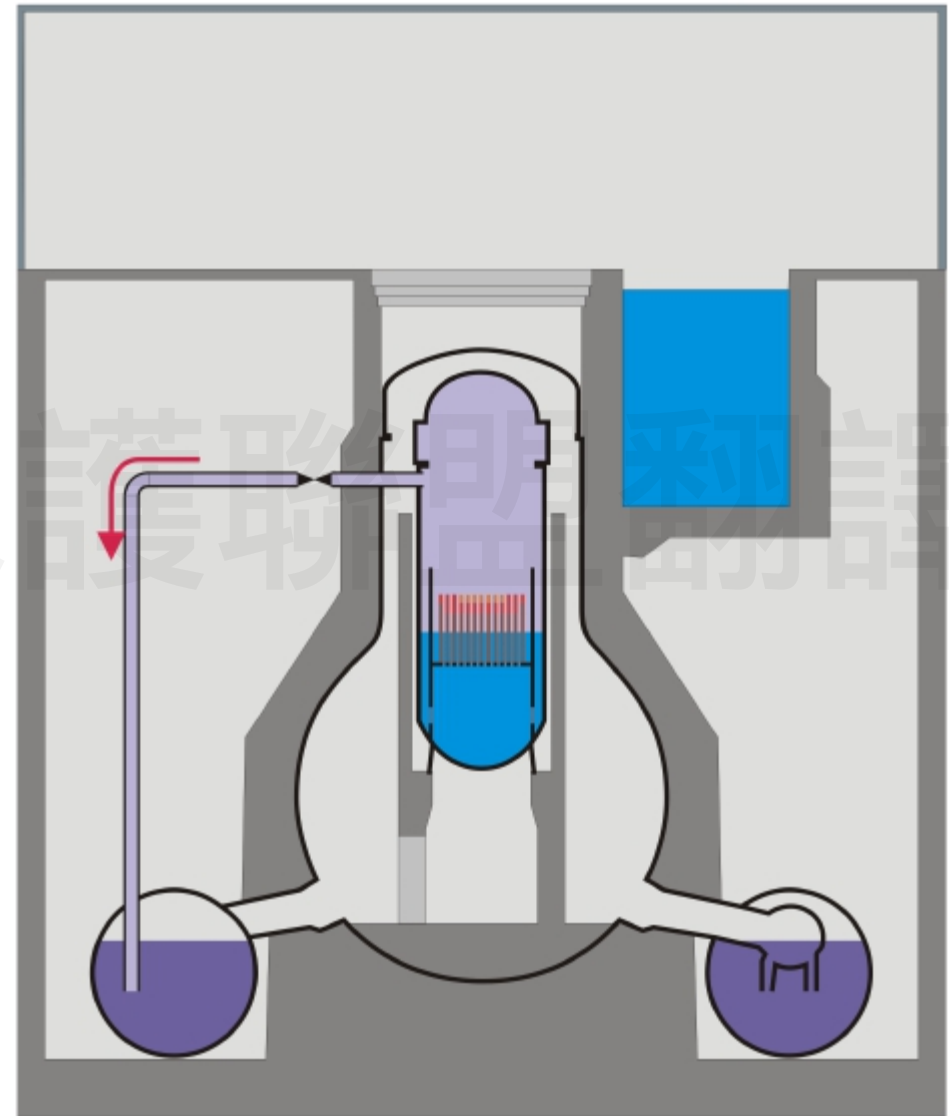




# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

- ▶ 50%的爐心曝露
  - ◆ 外殼溫度升高，尚無顯著的爐心損壞。
  
- ▶ 2/3的爐心曝露
  - ◆ 外殼溫度超過900度C
  - ◆ 外殼膨脹破裂
  - ◆ 核分裂產物從縫隙中釋出

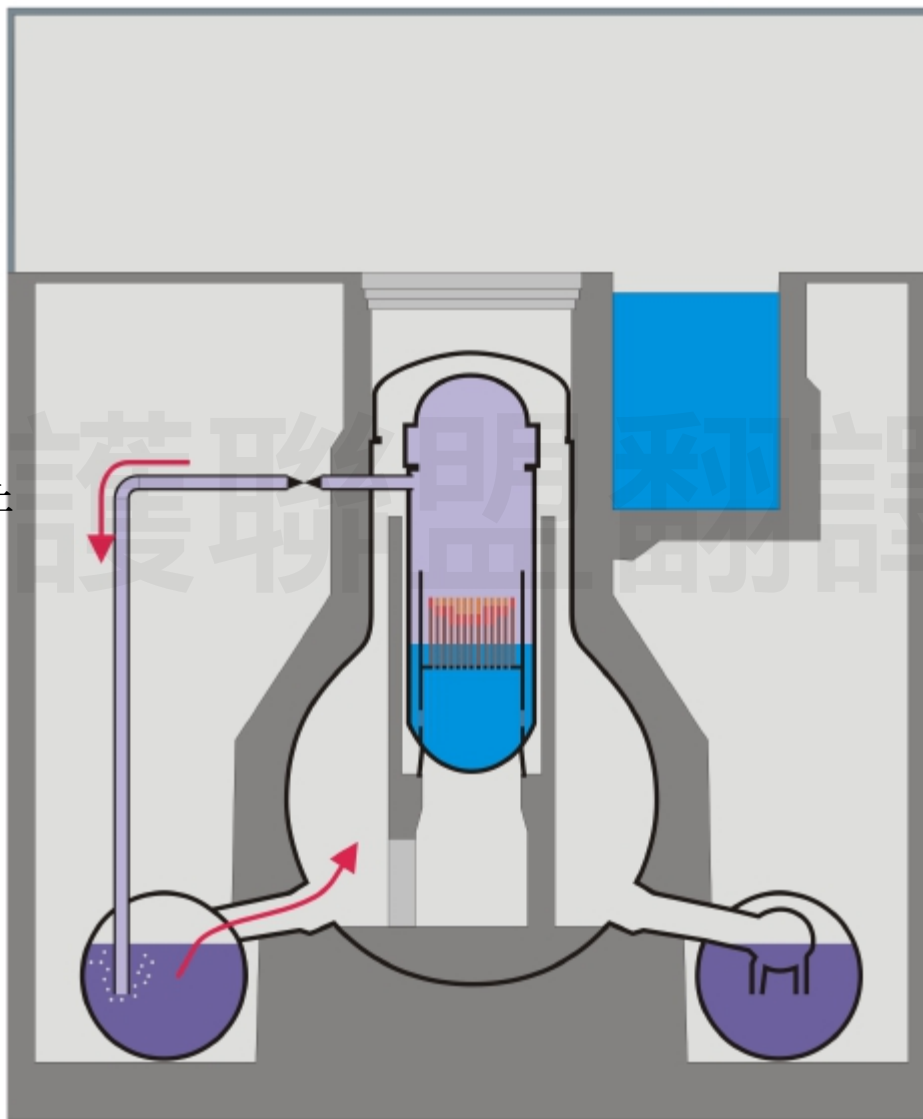


# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

### ▶ 3/4爐心曝露

- ◆ 外殼的溫度超過1200度C
- ◆ 外殼的銹開始燃燒。
- ◆ 產生氫氣
- ◆ 乾濕井間真空破壞，氫氣進入乾井



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

### ▶ 1800度C (1、2、3機組)

- ◆ 燃料棒外殼融毀
- ◆ 鋼結構融毀

### ▶ 2500度C

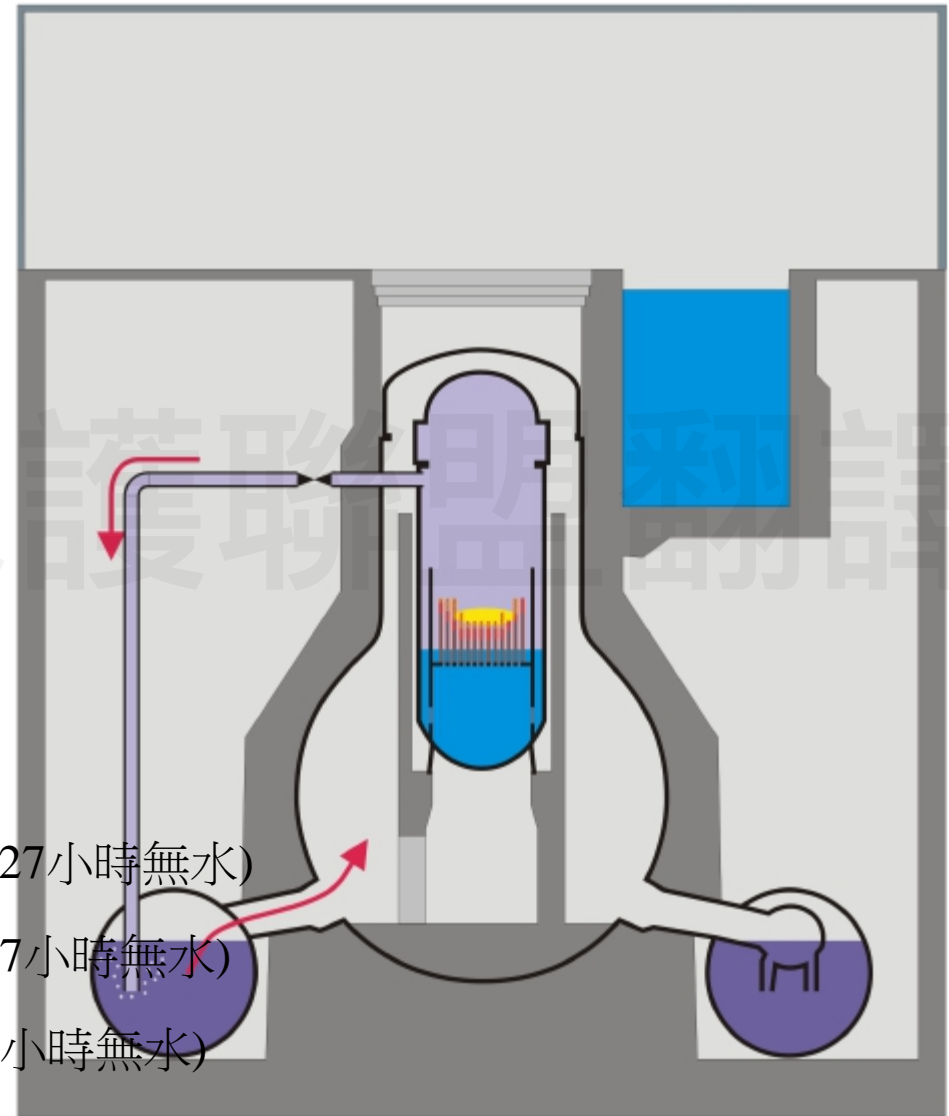
- ◆ 燃料棒破裂
- ◆ 碎片墜入爐心

### ▶ 2700度C

- ◆ 鈾鋯合金共晶熔毀

### ▶ 恢復3座機組的水供應

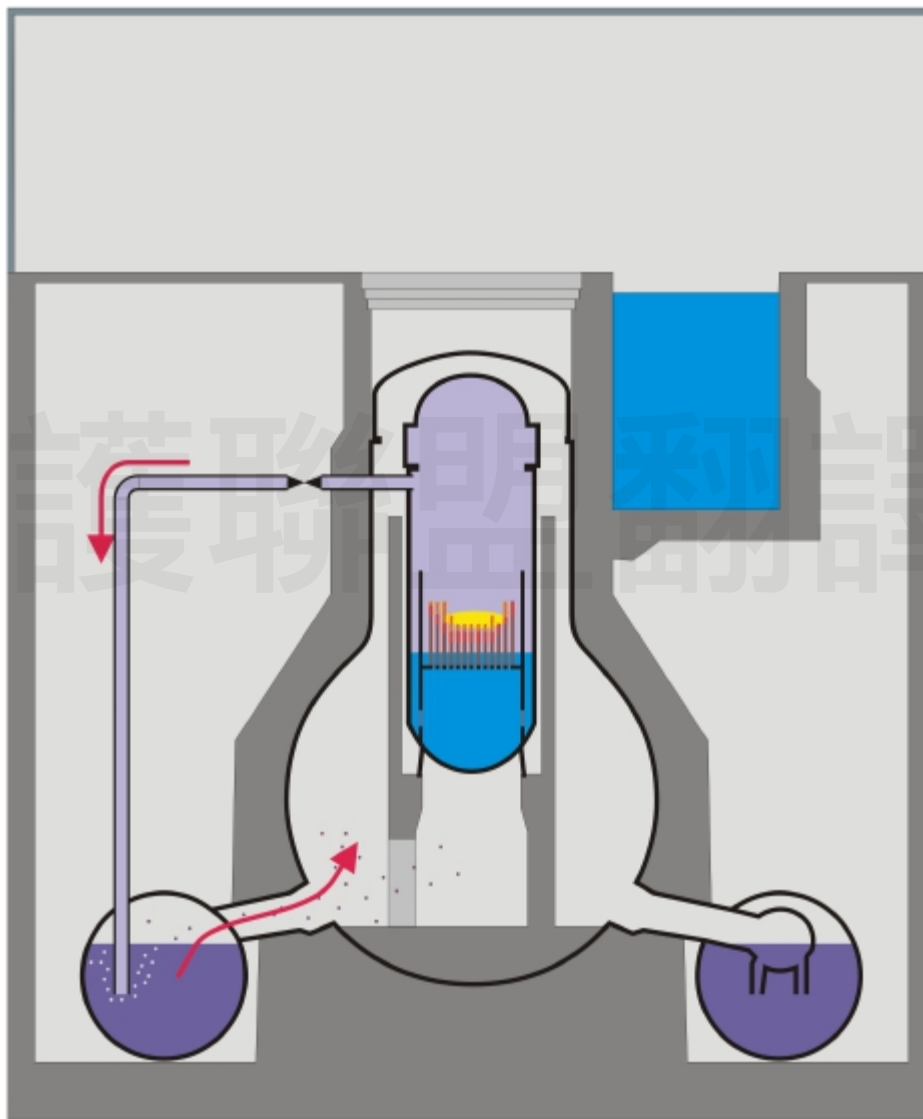
- ◆ 1號機：3月12日 日本時間 20:20 (27小時無水)
- ◆ 2號機：3月14日 日本時間 20:33 (7小時無水)
- ◆ 3號機：3月13日 日本時間 9:38 (7小時無水)



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

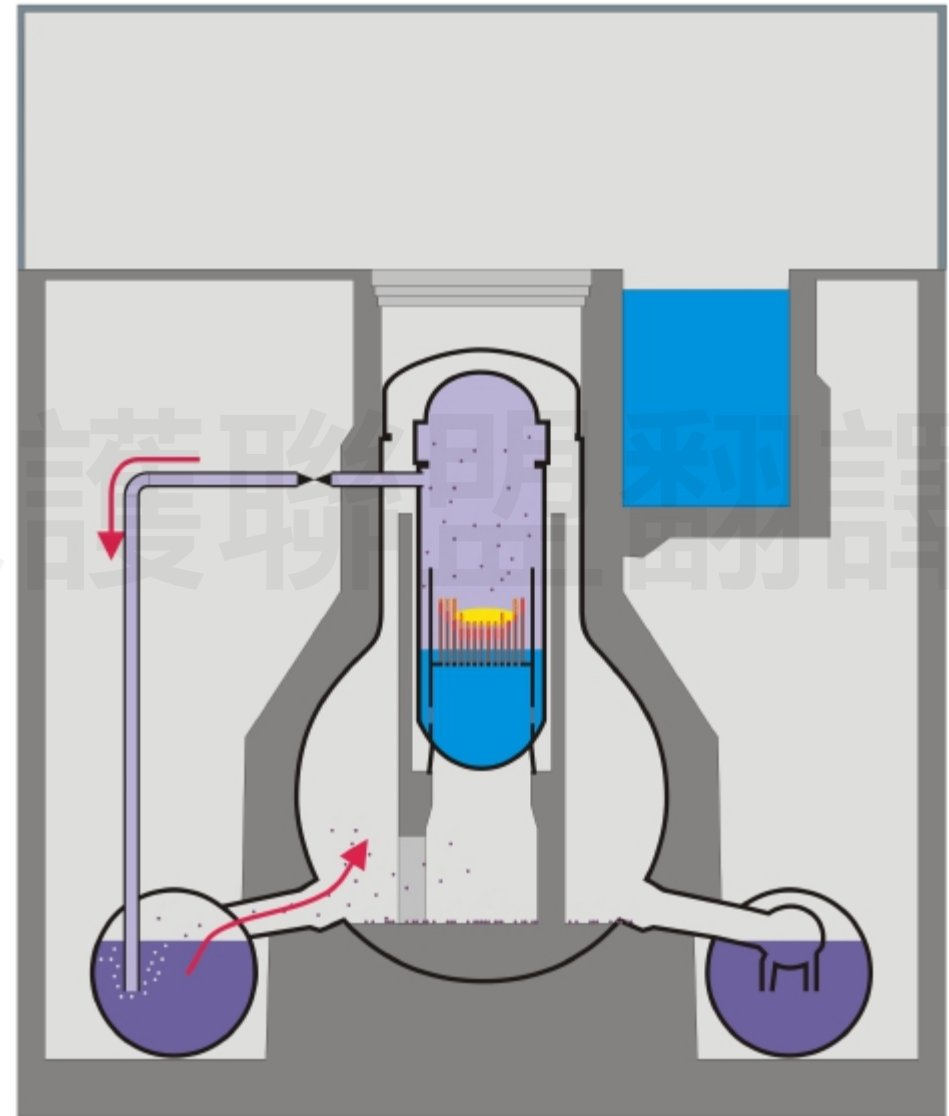
- ▶ 爐心熔毀過程中最早釋放的核分裂產物
  - ◆ 氙, 銫, 碘...
  - ◆ 鈾/鈾仍在爐心
  - ◆ 核分裂產物凝結在懸浮微粒上
- ▶ 經閥門排放出



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

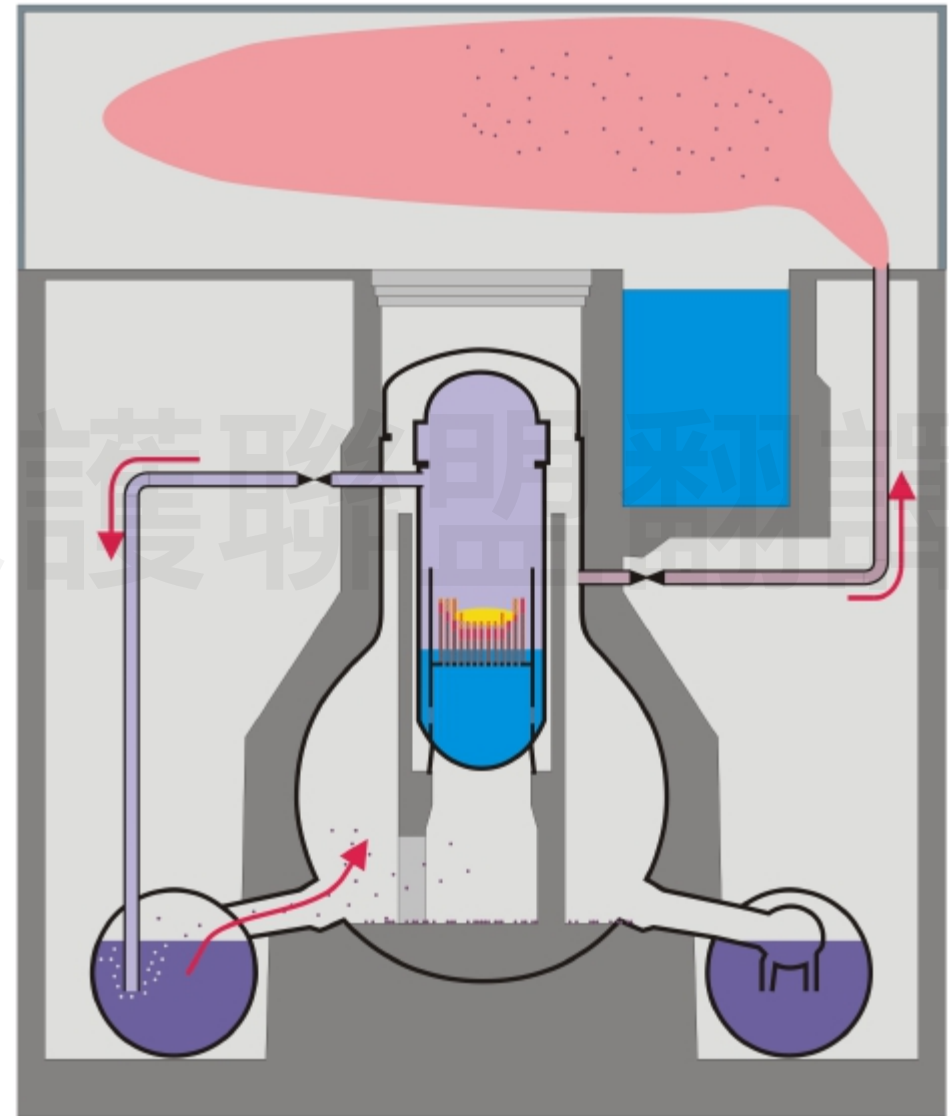
- ▶ 圍阻體
  - ◆ 核分裂產物與環境間的最後屏壁
  - ◆ 壁厚3公分
  - ◆ 設計耐壓 4-5 bar (1 bar 約為一大氣壓)
- ▶ 實際壓力達8 bar
  - ◆ 通常填充的氬氣
  - ◆ 爐心氧化產生的氬氣
  - ◆ 凝結室沸騰蒸氣(如壓力鍋)
- ▶ 圍阻體降壓
  - ◆ 機組1：3月12日 日本時間4:00
  - ◆ 機組2：3月13日 日本時間00:00
  - ◆ 機組3：3月13日 日本時間8:41



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

- ▶ 圍阻體洩壓的正反面
  - ◆ 唯一移除反應爐能量的方式
  - ◆ 降壓至4bar
  - ◆ 會釋放些許含(碘、銫~0.1%)懸浮微粒
  - ◆ 釋放所有的惰性氣體
  - ◆ 釋出氫氣
  
- ▶ 氣體被釋放到反應爐工作層
  - ◆ 氫易燃

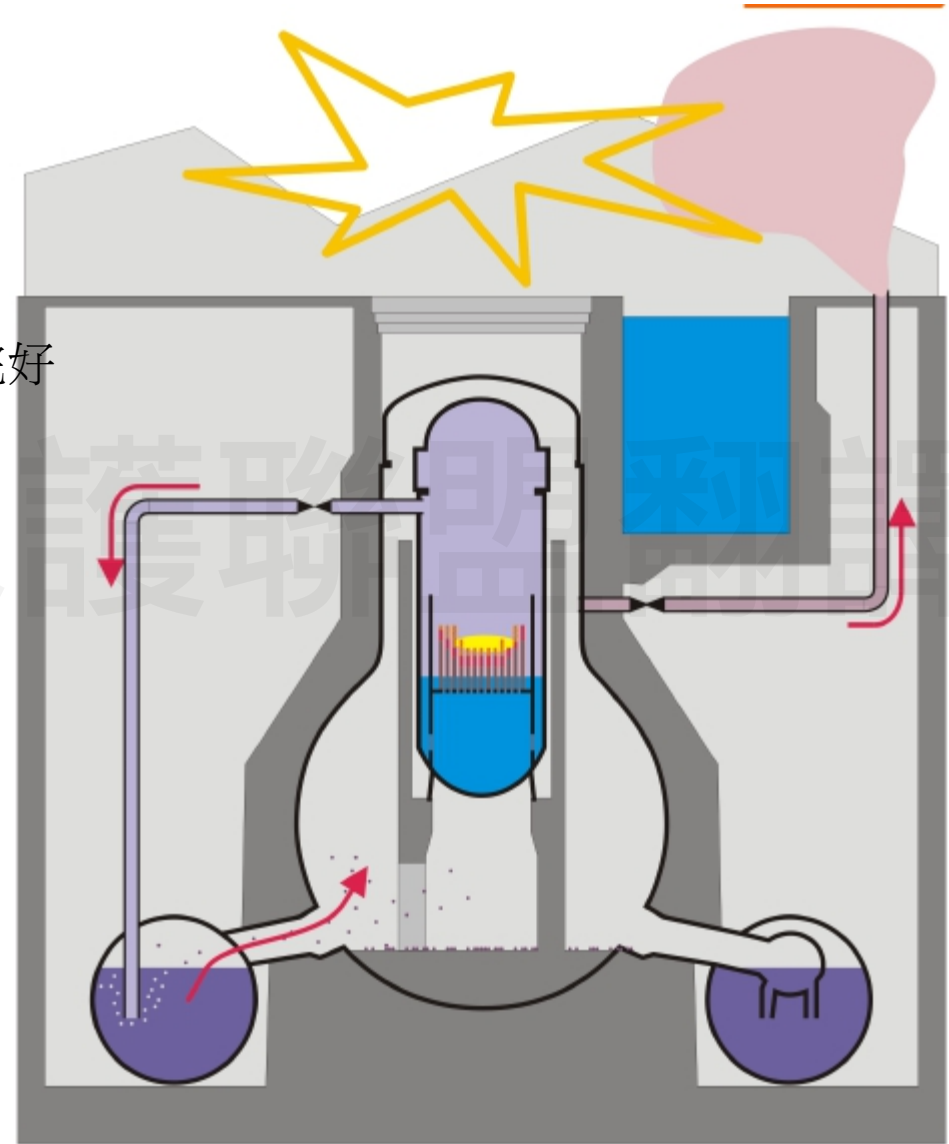


# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

### ▶ 1號機組和3號機組

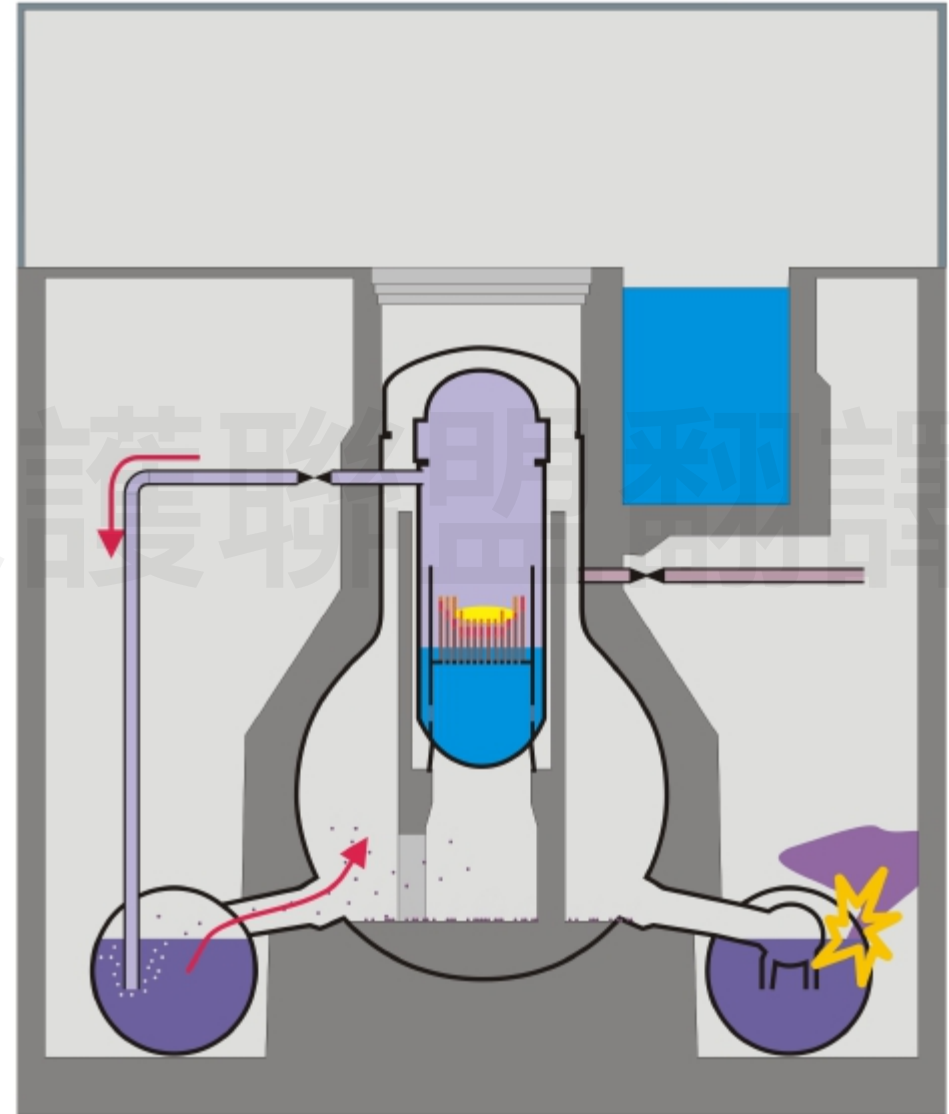
- ◆ 反應爐工作層氫氣爆炸
- ◆ 破壞鋼架屋頂
- ◆ 鋼筋混凝土反應爐建築物似乎完好



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 2.核災事故進展

- ▶ 2號機組
  - ◆ 氫氣在反應爐建築內燃燒
  - ◆ 可能損壞了冷凝室(含高污染的水)
  - ◆ 氣體從圍阻體內逸出無法控制。
  - ◆ 核分裂產物釋出
  - ◆ 核電廠暫時疏散
  - ◆ 核電廠內因殘骸有高放射劑量，阻礙恢復工作
  
- ▶ 沒有明確的資料說明為何2號機組表現不同

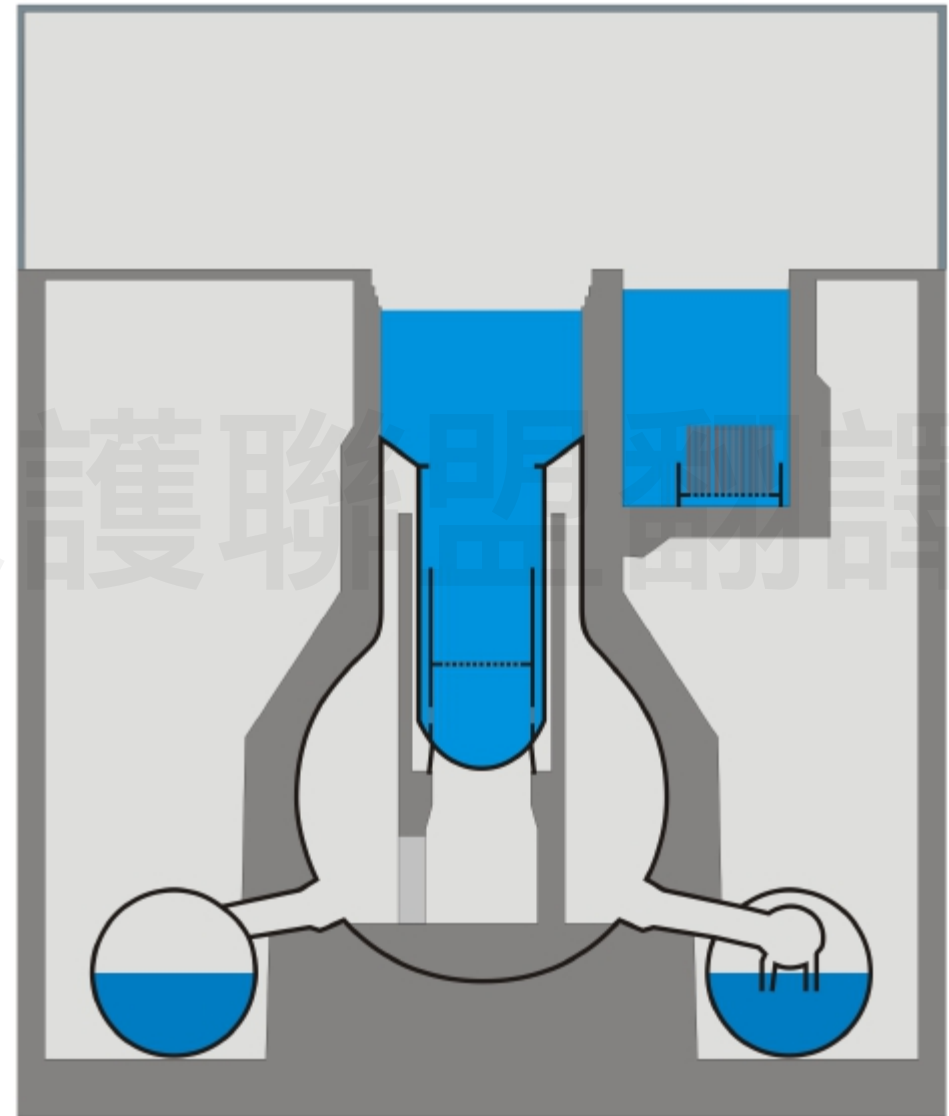




# 日本福島第一核電廠核災事件

## 3. 用過燃料棒儲存槽

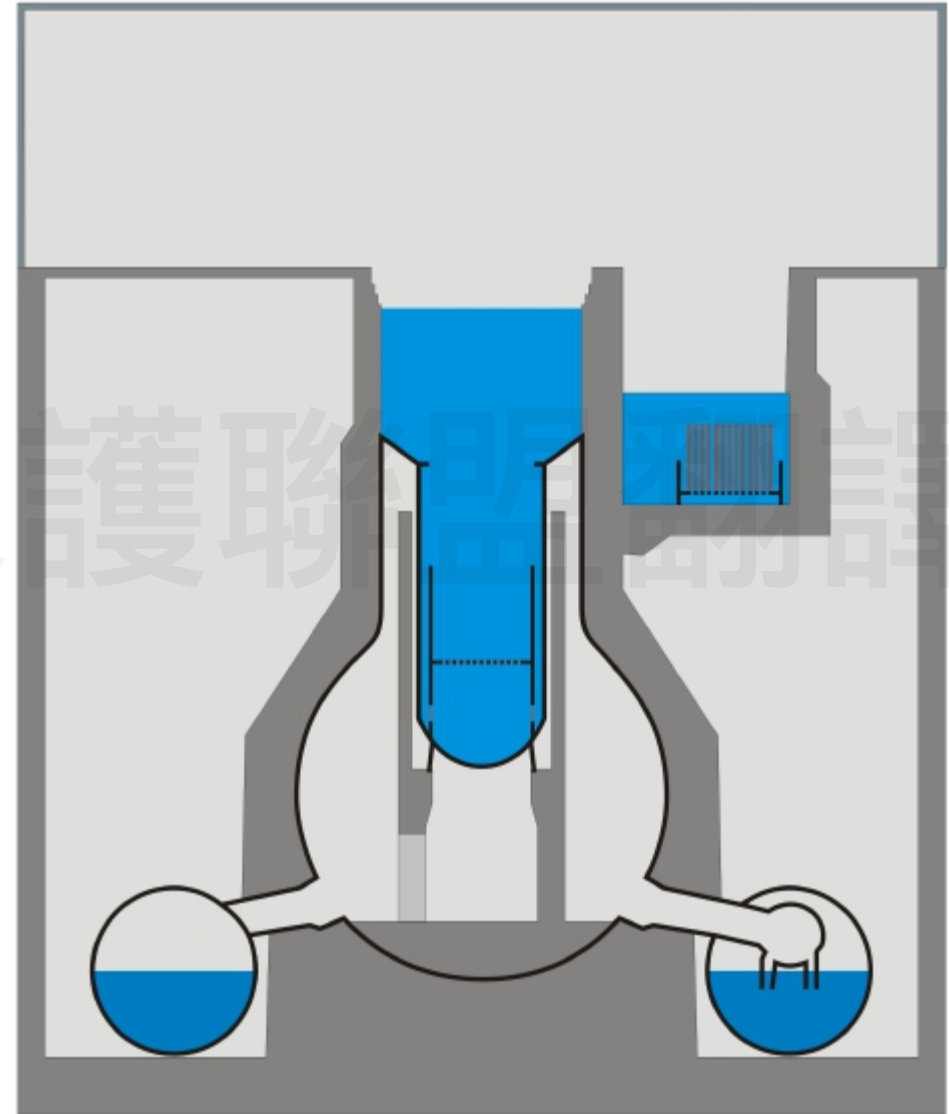
- ▶ 用過燃料棒貯存在核反應器工作層的池中
  - ◆ 由於維護4號機組，其整個爐心貯存在燃料池
  - ◆ 用過燃料棒貯存池變乾
    - 4號機組：10天內
    - 1-3、5、6號機組：幾個星期內
  - ◆ 因為地震而導致用過燃料棒貯池洩漏？
- ▶ 後果
  - ◆ 在新鮮的空氣中”爐心熔毀”
  - ◆ 核分裂產物毫無阻攔
  - ◆ 大量釋放



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 3. 用過燃料棒儲存槽

- ▶ 用過燃料棒貯存在核反應器工作層的池中
  - ◆ 由於維護4號機組，其整個爐心貯存在燃料池
  - ◆ 用過燃料棒貯存池變乾
    - 4號機組：10天內
    - 1-3、5、6號機組：幾個星期內
  - ◆ 因為地震而導致用過燃料棒貯池洩漏？
- ▶ 後果
  - ◆ 在新鮮的空氣中”爐心熔毀”
  - ◆ 核分裂產物毫無阻攔
  - ◆ 大量釋放



# 日本福島第一核電廠核災事件

## 3. 用過燃料棒儲存槽

- ▶ 用過燃料棒貯存在核反應器工作層的池中
  - ◆ 由於維護4號機組，其整個爐心貯存在燃料池
  - ◆ 用過燃料棒貯存池變乾
    - 4號機組：10天內
    - 1-3、5、6號機組：幾個星期內
  - ◆ 因為地震而導致用過燃料棒貯池洩漏?
- ▶ 後果
  - ◆ 在新鮮的空氣中”爐心熔毀”
  - ◆ 核分裂產物毫無阻攔
  - ◆ 大量釋放

