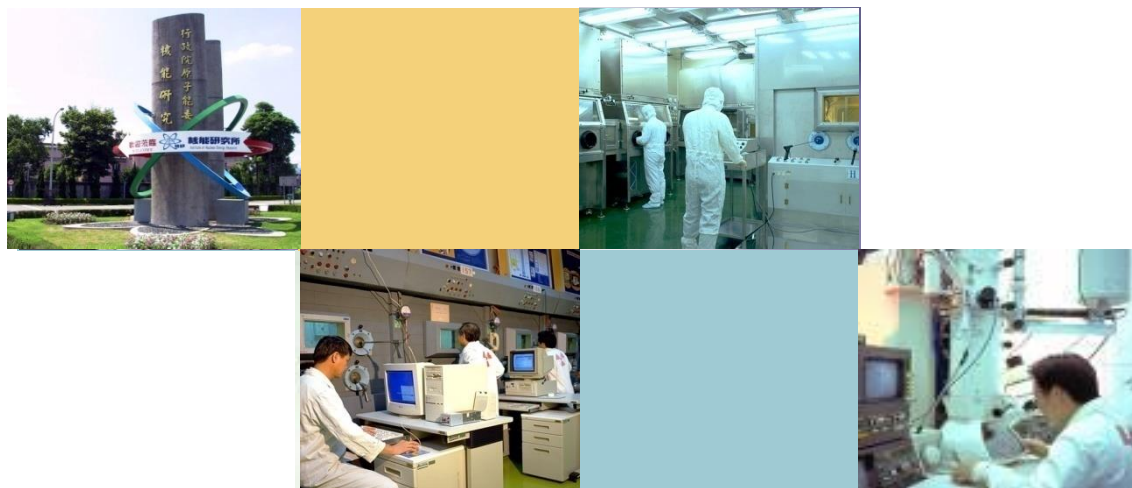


核一廠MAAP 5程式FLEX分析



2016-09-06

黃毅文



Institute of Nuclear Energy Research

Outline

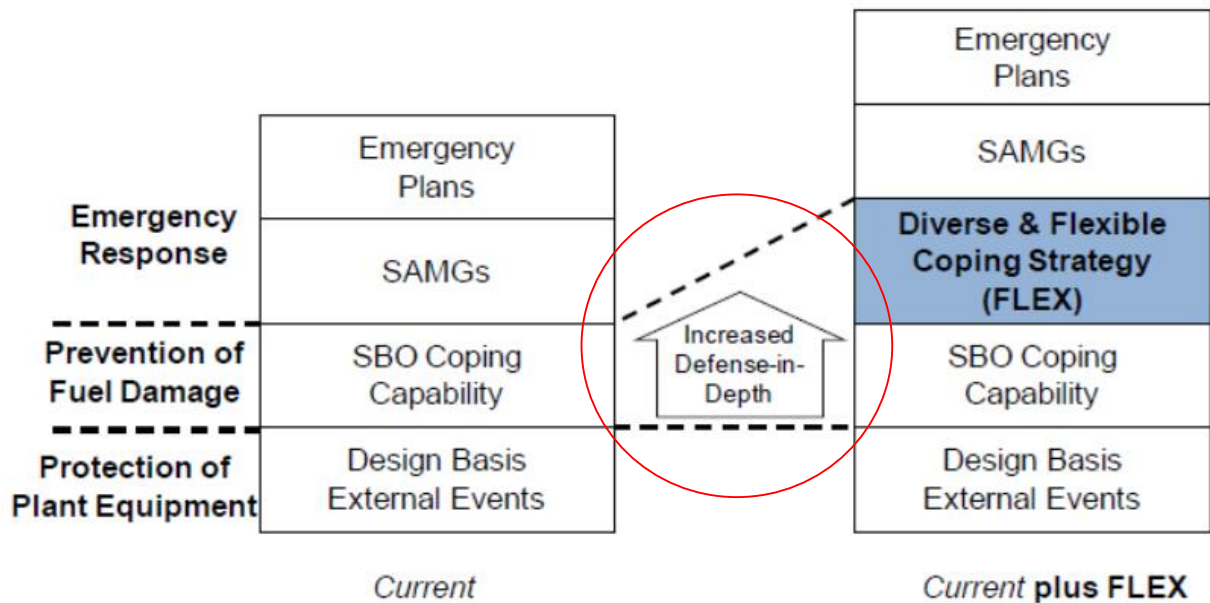
- FLEX簡介 (EA-12-049、NEI 12-06)
- NEDC-33771P介紹
- FLEX基本案例分析結果
- FLEX 延伸案例分析結果
- 結論

FLEX簡介

- FLEX緣起：
 - 福島事故後，美國NRC於2012年3月發佈order EA-12-049 (mitigation of beyond-design-basis external events)
 - NEI於同年8月發佈NEI 12-06 (FLEX施行導則)
 - GEH於次年發佈NEDC-33771P (GEH對於FLEX之評估報告)
- FLEX簡介：(摘自NEI 12-06)
 - 全名為Diverse and FLEXible Coping Strategies
為具有多樣化且具變通性的應變策略
 - 是減輕Beyond-design-basis之外部事件之方法(NRC Order要求)，目的在於維持爐心、圍阻體、SFP之冷卻能力。
 - 1st Phase:依靠電廠已安裝設備之初始應付。
 - 2nd Phase:由電廠已安裝設備轉換到廠內的FLEX設備。
 - 3rd Phase:由廠外的設備得到更多的處理能力與多重性，直到電力、水源、與冷卻水注入系統已恢復。

FLEX簡介

- FLEX整體架構：(摘自 NEI 12-06)



- ◆ 超過設計基準外部/天然事件(BDBEE)
 - 長期喪失電源(ELAP)
 - 喪失最終熱沉 (LUHS)
- ◆ 增加多樣化且變通性的策略來緩和事故
 - FLEX Strategies

NEDC-33771P介紹

- NEDC-33771P簡介：
 - 為GEH對於FLEX施行導則的評估報告
 - 依各型BWR電廠評估模擬圍阻體較容易因過壓高溫失效之時間
 - 評估各廠最少所需之爐心注水量

- NEDC-33771P目的：
 - 為NEI 12-06 提供額外的BWR 各類型電廠資訊，包含：
 - 電廠對於ELAP(Extended Loss of AC Power)事故的響應
 - 電廠對於Loss of UHS(Ultimate Heat Sink)事故的響應
 - 針對各類型電廠的分析基礎與建議動作
 - 主要涉及以下三個關鍵安全功能：
 - 爐心冷卻、圍阻體完整性、SFP冷卻

核一廠基本案例分析

- 核一廠基本案例假設條件：
 - 事故前開始為全功率運轉狀態。熱功率1840MWt，爐壓為1008.88 psia。
 - 衰變熱採用1979 ANS 5.1標準，並假設敏感度為2 sigma，即ANS5.1-1979+2 sigma。
 - 反應器初始水位在90 cm (窄幅水位)。MSIV在急停信號後3.5秒完全關閉，**且無一次側洩漏**。
 - 溼井自由空間體積為95000 ft³，氣溫為33.5°C，溼井壓力1psig，溼井溼度100%。Torus體積為70276 ft³，水溫為33.5°。乾井自由空間(含排氣管段)的體積為130000 ft³，氣溫為57°C，乾井壓力1psig，溼度20%。
 - 乾井初始熱負載來自反應爐、再循環管路、飼水管路、蒸汽管路以及SRVs(假設為1.5 MW)。**初始γ熱負載假設1908 W。CRD管路初始熱能1.52E5 W。每一SRV初始排洩管路的熱負載假設4.52 E4 W。上述(初始γ熱負載、CRD管路初始熱能、每一SRV初始排洩管路的熱負載)假設值係以HNP電廠之數值為基準，依功率比例轉換。**
 - 乾井與Torus設計壓力為56 psig，設計溫度340 °F。

核一廠基本案例分析

- 核一廠基本案例假設條件(續)：
 - **RCIC注水的水源可由Torus或CST取水**，CST初始存量為350000加侖(1324.8立方公尺)(是依據CST的正常水位維持值為初始值)、水溫為100°F。RCIC從TORUS取水之水溫限制為250°F。RCIC啟動所需時間為25秒。
 - 反應爐在時序模擬第30分鐘開始以不超過100°F/hr的降溫率進行控制性降壓，直到反應爐壓力達約15kg/cm²，之後並維持此壓力。
 - 在時序模擬第8小時，開始圍阻體排氣，排氣管徑假設為12”(實際上共有3”與14”等兩種尺寸，本次報告僅模擬14”管路，並將14”管路保守起見以12”分析，排氣管路摩擦損失因數K假設為4.0。
 - 事件時序結束在第24小時(NEDC報告分析案例)/第72小時(FLEX 延伸分析案例)。
 - 不考慮BWR4反應爐再循環水泵水封洩漏量

最低爐心所需注水量

- 爐心所需最低注水流量計算
 - 參照NEDC報告內所提及之作法
 - 最低冷卻爐心所需注水流量(The Minimum Debris Retention Injection Rate, MDRIR)是依照BWR EPGs/SAGs Appendix C 中WS-6進行計算。

最低爐心所需注水量

Time (min / hr)	1979 ANS 5.1 Bounding Decay Heat Fraction	Required Vessel Inventory Makeup Rate (GPM)
2 min	3.97E-2	395.3931
4 min	2.99E-2	330.188
6 min	2.68E-2	297.1513
8 min	2.50E-2	275.736
10 min	2.37E-2	260.1938
15 min	2.14E-2	234.1603
20 min	1.97E-2	217.2847
25 min	1.84E-2	205.0371
30 min	1.74E-2	195.5444
35 min	1.66E-2	187.8621
40 min	1.58E-2	181.4518
45 min	1.52E-2	175.9793
50 min	1.47E-2	171.224
1 hr	1.38E-2	163.2968
1.5 hr	1.21E-2	146.9582
2 hr	1.11E-2	136.3672
2.5 hr	1.04E-2	128.6806
3.3 hr	9.59E-3	119.4068
5 hr	8.62E-3	107.4596
7.5 hr	7.76E-3	96.70784
10 hr	7.20E-3	89.73825
15 hr	6.44E-3	80.75955
20 hr	5.91E-3	74.93933
25 hr	5.52E-3	70.71527
30 hr	5.22E-3	67.44132

FLEX基本案例之事故序列時序表

基本案例：No Venting, RCIC Suction from Suppression Pool

No Venting, RCIC Suction from Suppression Pool	
T=0 hr	喪失廠外電源，SBO事故。 利用RCIC維持水位在90cm以上 (MAAP顯示為13.4m)。
T=0.5 hr	以不超過100 °F/hr之降溫率進行控制性降壓 目標為15 kg/cm ² (147 kPa)。
T=2.5 hr	反應爐壓力到達15 kg/cm ² (147 kPa)。 RCIC排氣高壓力接線拆開。
T=24 hr	程式結束。

基本案例：12" Pipe Venting at 8hr, RCIC Suction from CST, K=4

12" Pipe Venting at 8hr, RCIC Suction from CST, K=4	
T=0 hr	喪失廠外電源，SBO事故。 利用RCIC維持水位在90cm以上 (MAAP顯示為13.4m)。
T=0.5 hr	以不超過100 °F/hr之降溫率進行控制性降壓 目標為15 kg/cm ² (147 kPa)。
T=2.5 hr	反應爐壓力到達15 kg/cm ² (147 kPa)。 RCIC排氣高壓力接線拆開。
T=8 hr	開啟圍阻體排氣。
T=24 hr	程式結束

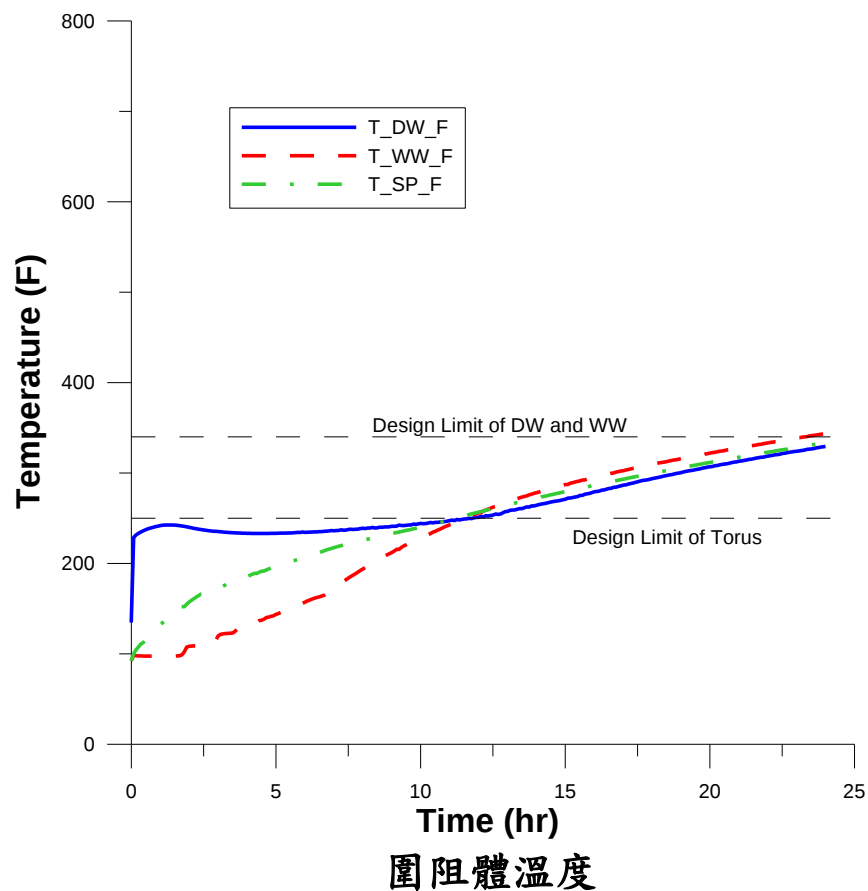
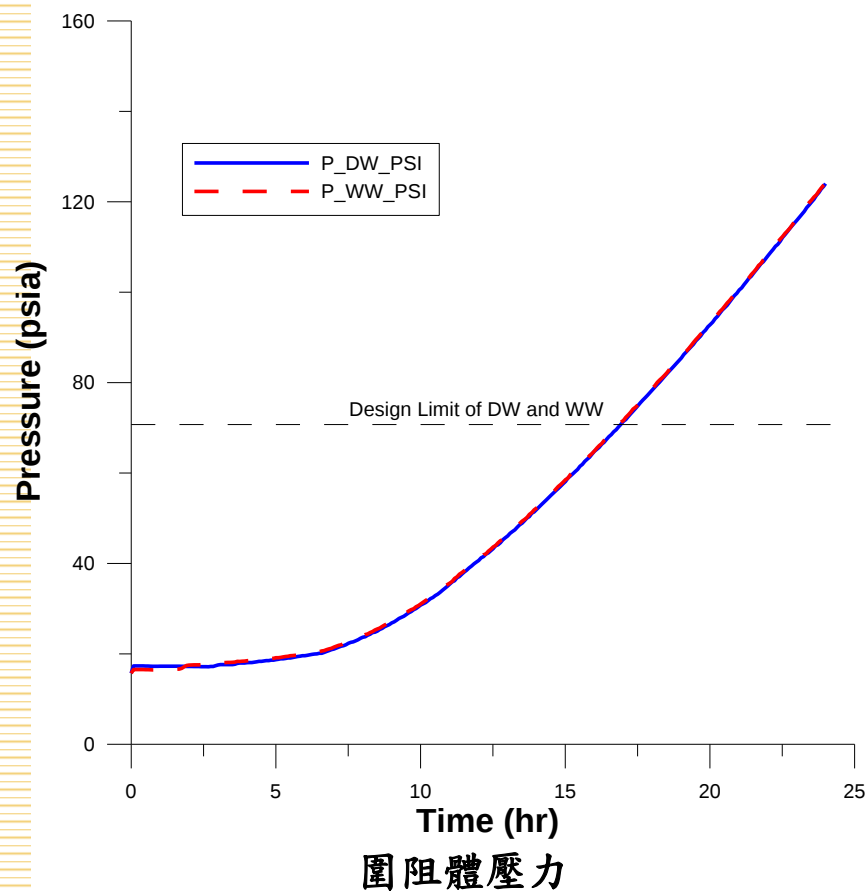
FLEX基本案例分析結果

- 核一廠基本案例：No Venting, RCIC Suction from Suppression Pool

No Venting, RCIC Suction from Suppression Pool			
Parameter	Peak Value	Time to Reach Design Limit (hr)	Design Limit
DW Pressure (psia)	124.0@24hr	16.92	70.7 Psia
DW Temperature (°F)	329.37@24hr	N/A	340 °F
WW Pressure (psia)	124.08@24hr	16.86	70.7 Psia
WW Temperature (°F)	343.38@24hr	23.29	340 °F
Suppression Pool Temperature (°F)	333.34@24hr	11.22	250 °F

FLEX基本案例分析結果

核一廠基本案例：No Venting, RCIC Suction from Suppression Pool



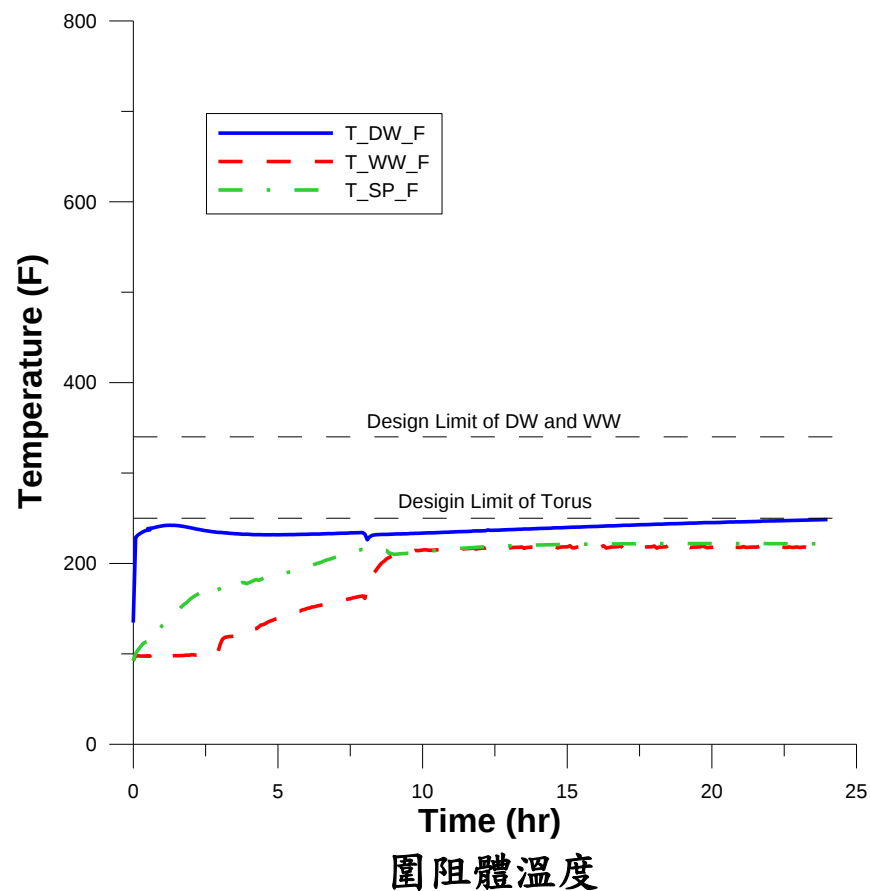
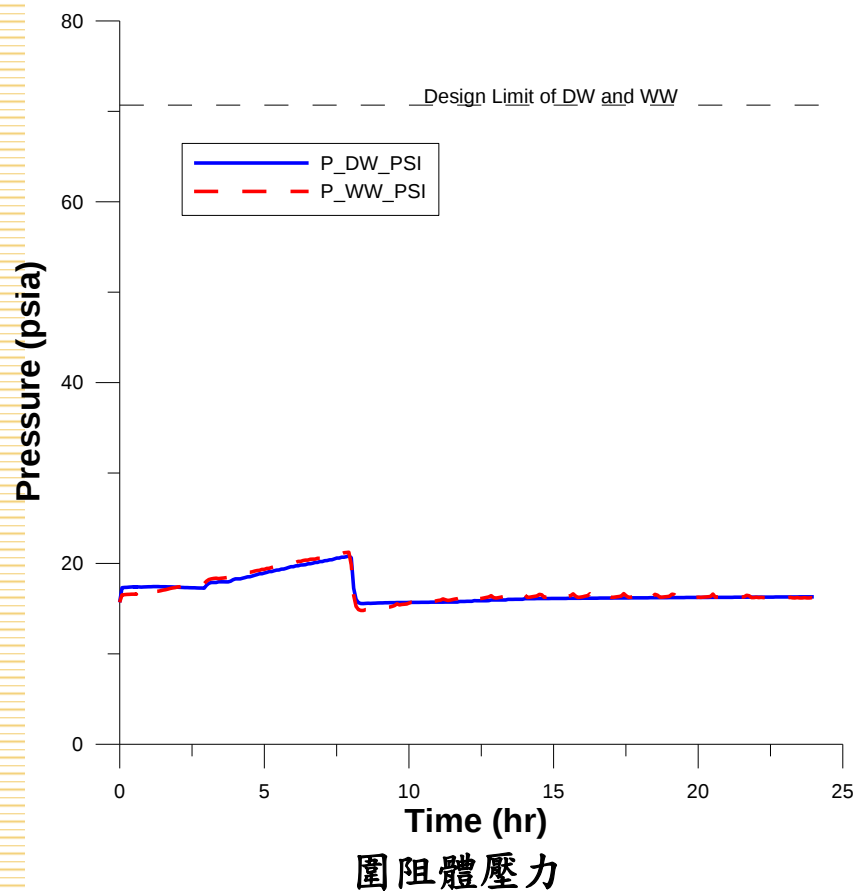
FLEX基本案例分析結果

- 核一廠基本案例：12" Pipe Venting at 8hr, RCIC Suction from CST, K=4

12" Pipe Venting at 8hr, RCIC Suction from CST, K=4			
Parameter	Peak Value	Time to Reach Design Limit (hr)	Design Limit
DW Pressure (psia)	20.83	N/A	70.7 Psia
DW Temperature (°F)	248.46	N/A	340 °F
WW Pressure (psia)	21.23	N/A	70.7 Psia
WW Temperature (°F)	220.0	N/A	340 °F
Suppression Pool Temperature (°F)	221.94	N/A	250 °F

FLEX基本案例分析結果

核一廠基本案例：12" Pipe Venting at 8hr, RCIC Suction from CST, K=4



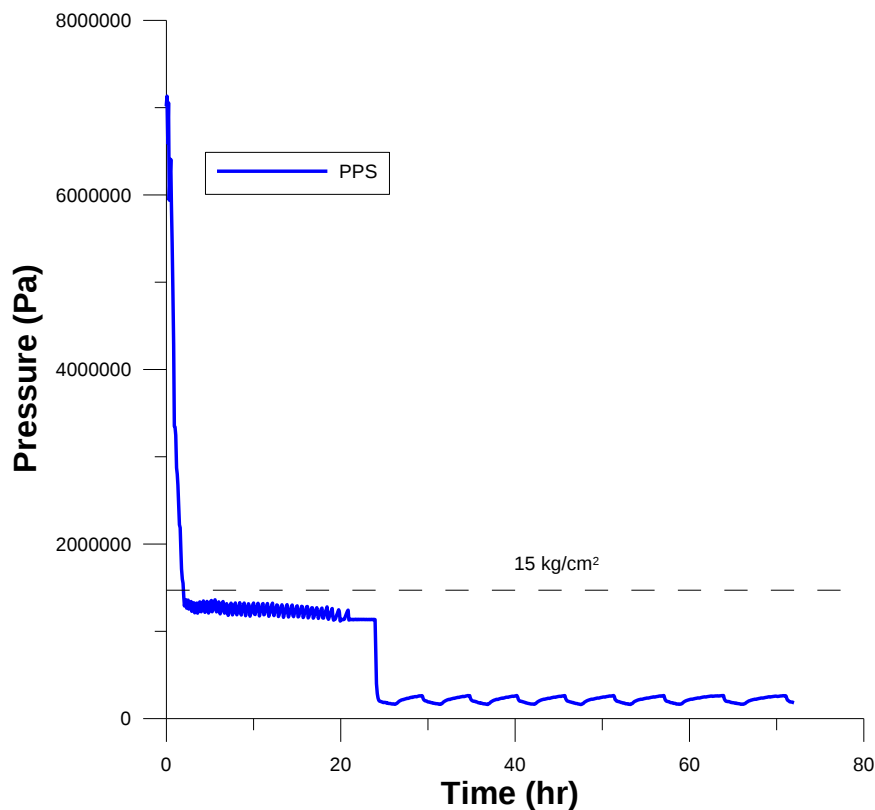
FLEX延伸案例事故序列時序表

- FLEX延伸案例之事故序列時序表：

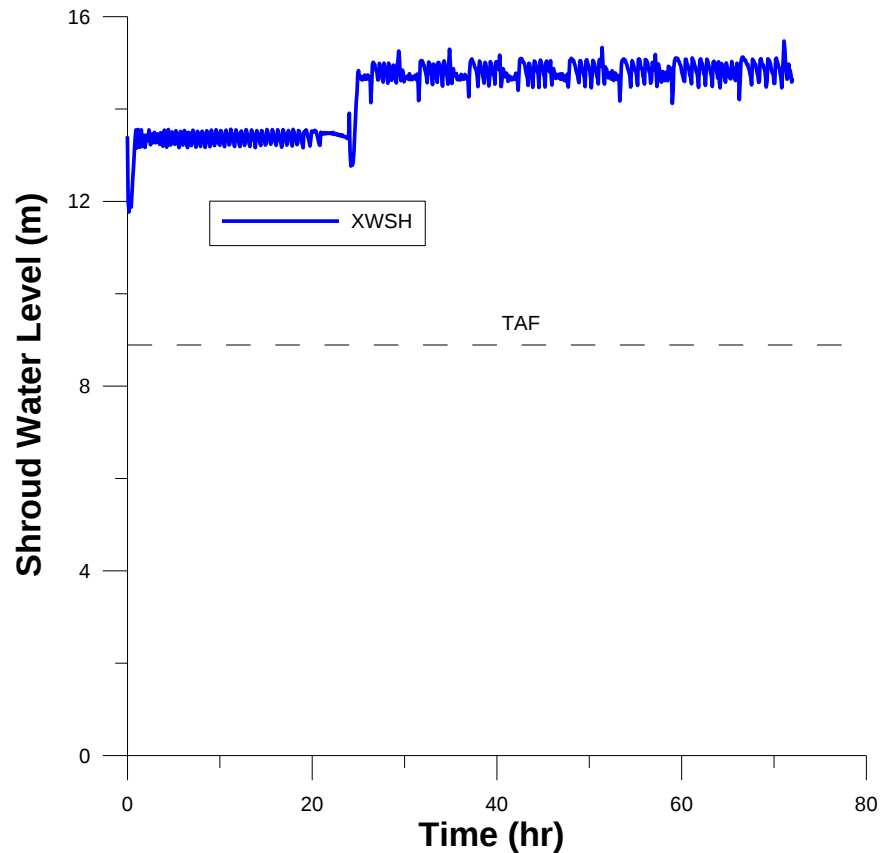
RCIC Suction from CST, K=4, 24 hr (or 8 hr)轉FLEX	
T=0 hr	喪失廠外電源，SBO事故。 利用RCIC維持水位在90cm以上 (MAAP顯示為13.4m)。
T=0.5 hr	以不超過100 °F/hr之降溫率進行控制性降壓，目標為15 kg/cm ² (1470 kPa)。
T=24 hr (or T=8 hr)	RCIC停止注水，RPV緊急洩壓並執行外部注水。
T=72 hr	程式結束。

- 圍阻體排氣模式：batch mode (5~20 psig/19.7~34.7 psia)
- 排氣口徑：12"管，K=4，當圍阻體壓力達20 psig時進行圍阻體排氣。

FLEX延伸案例分析結果(24 hr 轉FLEX)

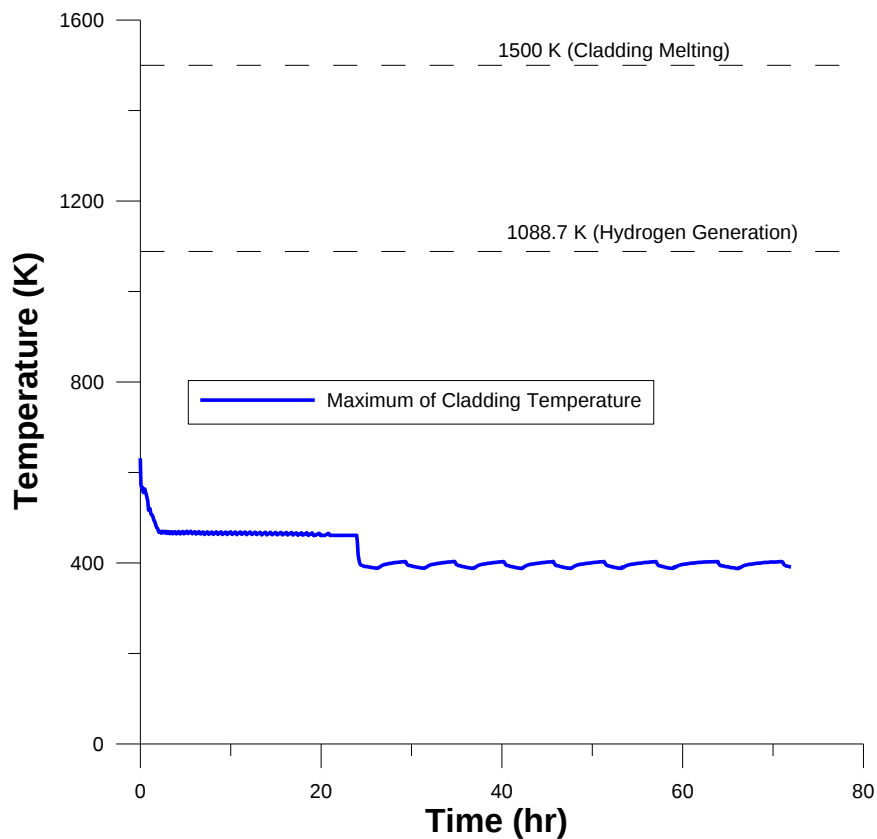


反應爐壓力變化

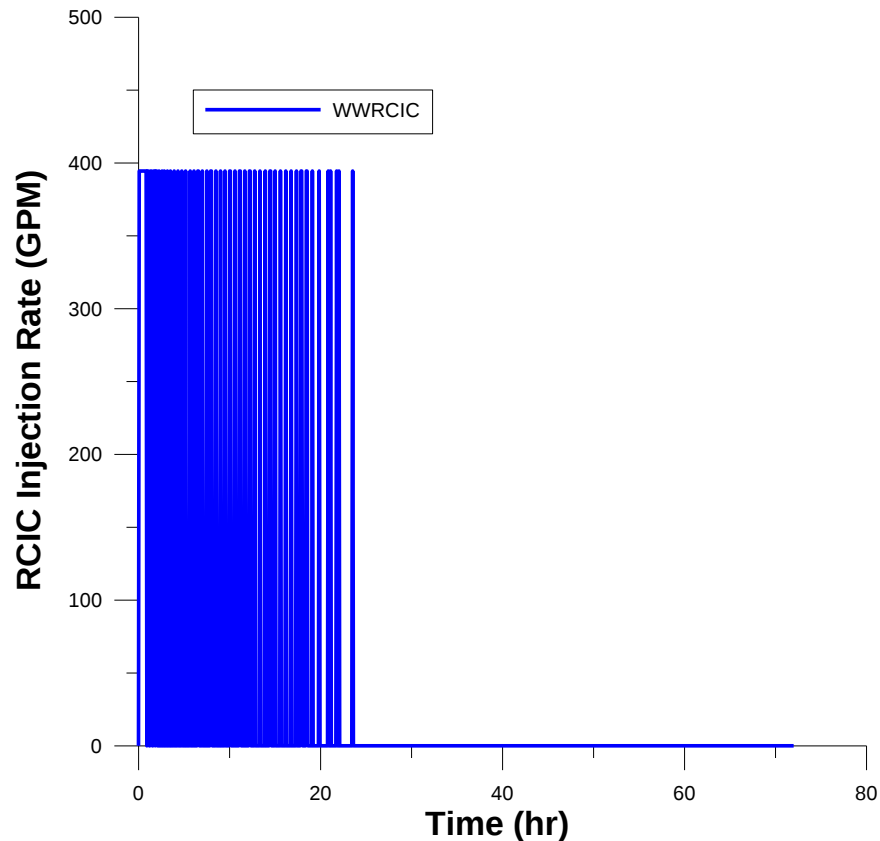


反應爐側板水位變化

FLEX延伸案例分析結果(24 hr 轉FLEX)

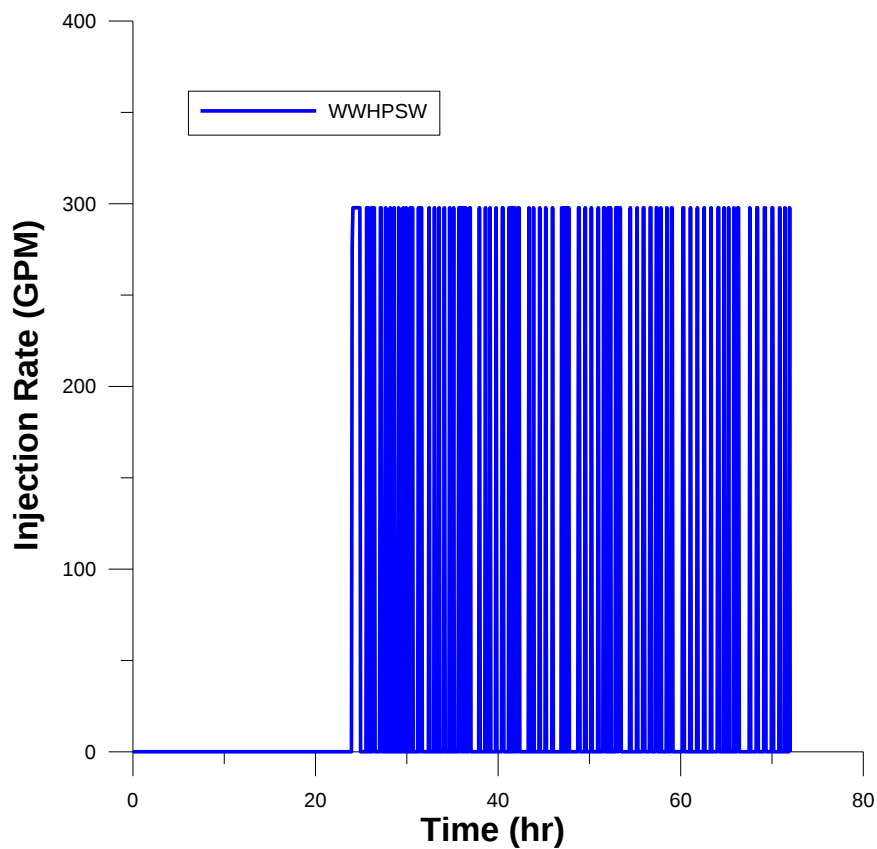


最高護套溫度變化

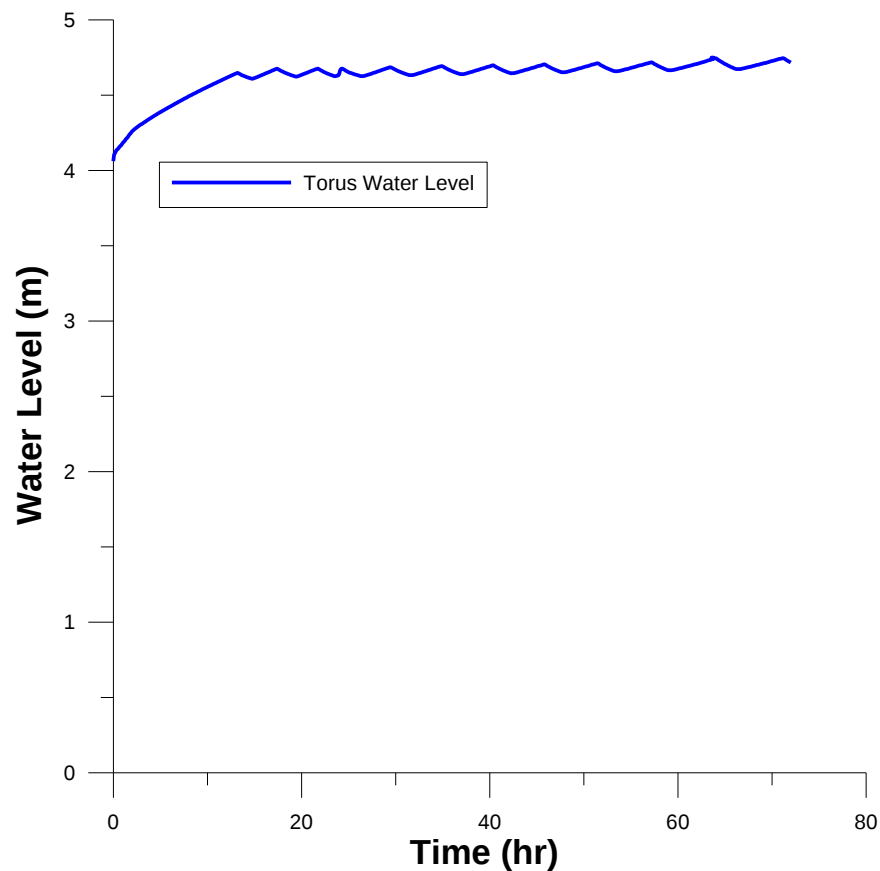


反應爐注水流量變化(RCIC)

FLEX延伸案例分析結果(24 hr 轉FLEX)

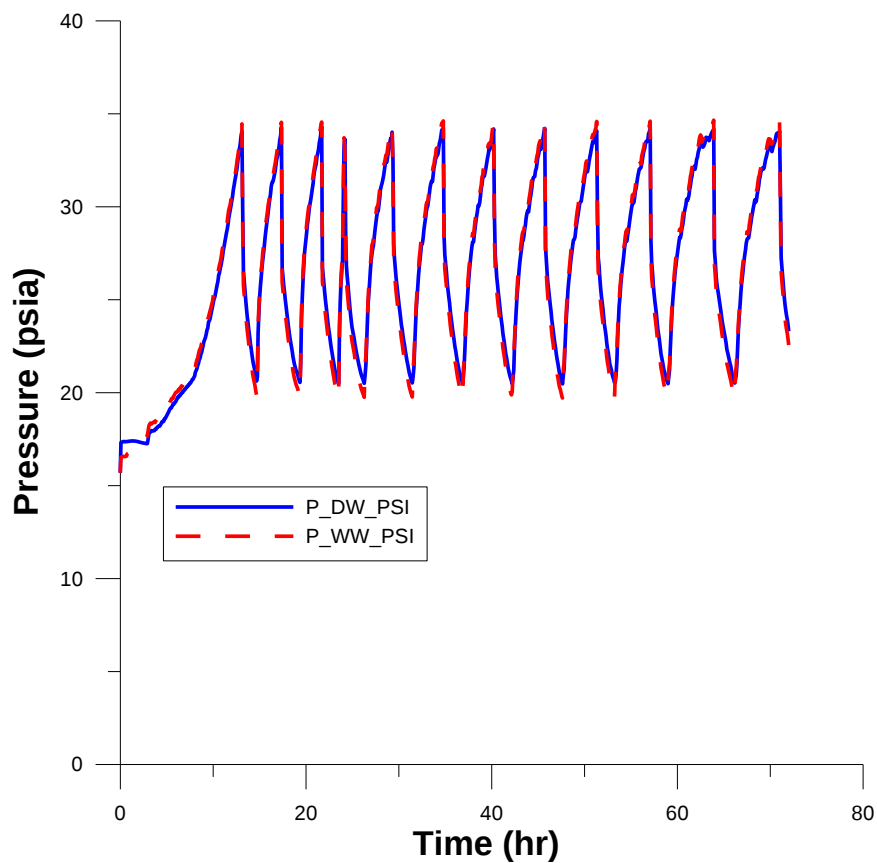


反應爐注水流量變化(外部注水)

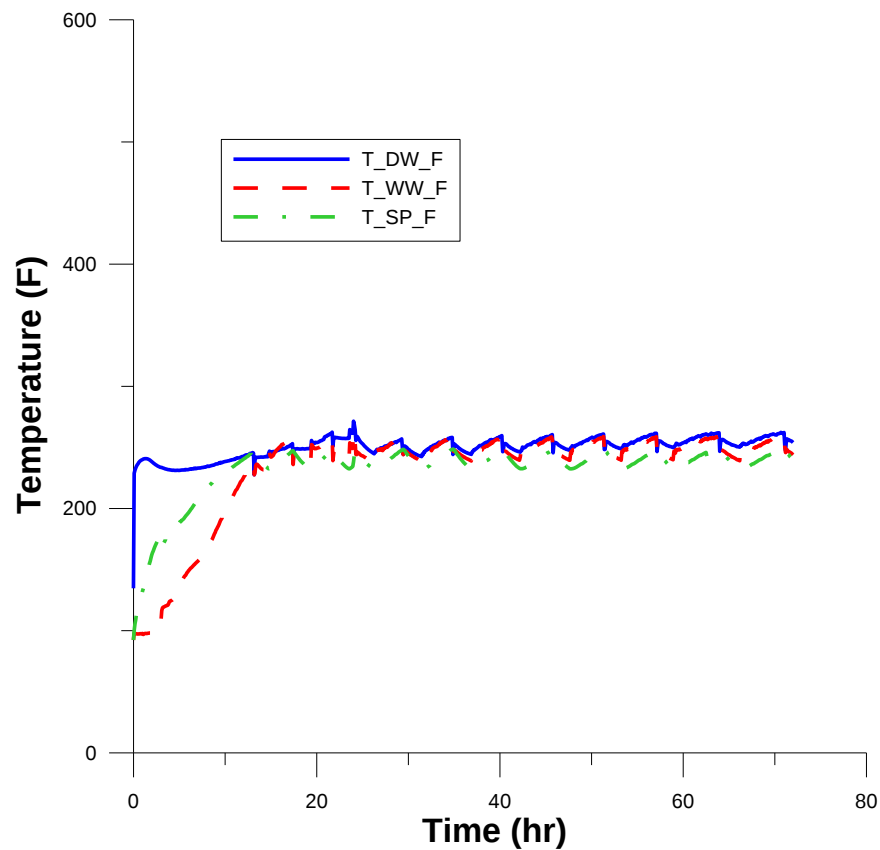


Torus水位變化

FLEX延伸案例分析結果(24 hr 轉FLEX)

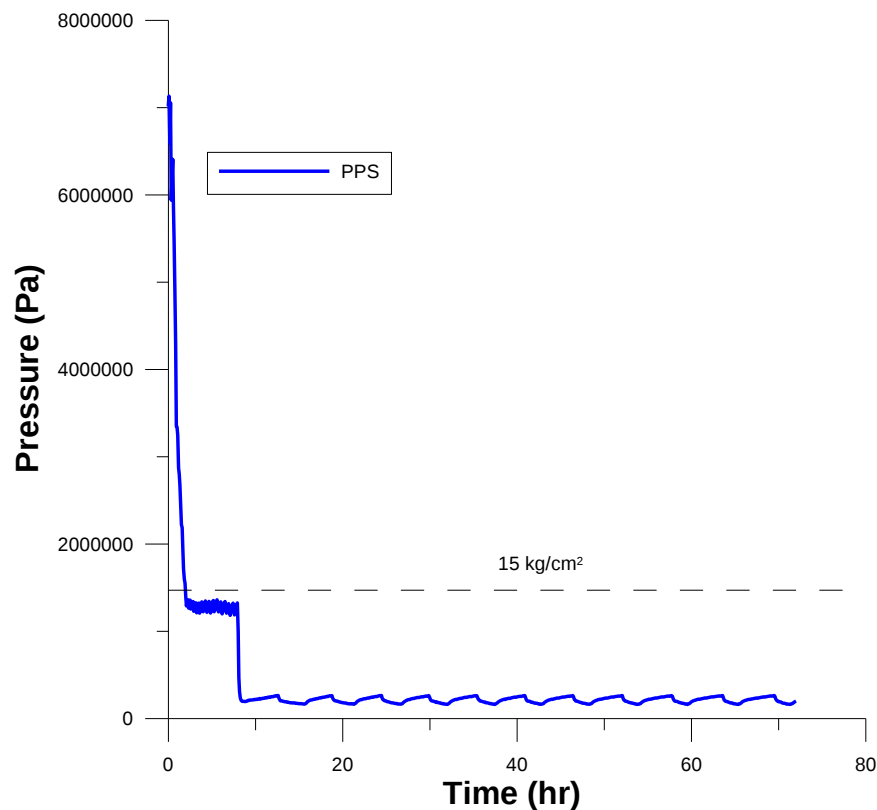


圍阻體壓力變化

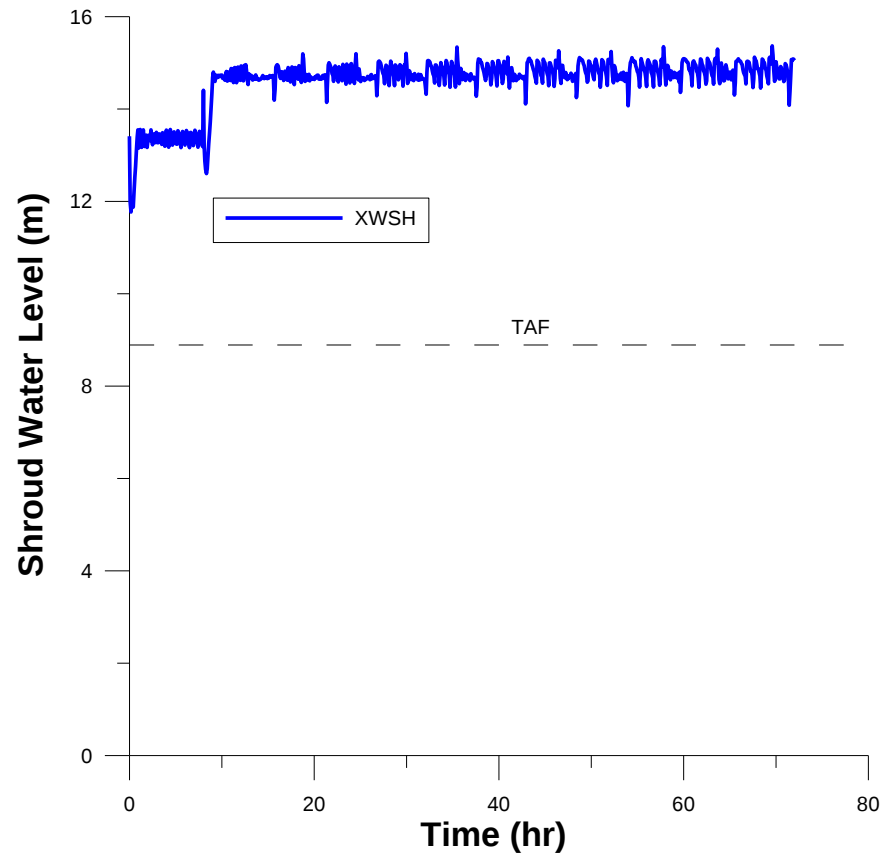


圍阻體溫度變化

FLEX延伸案例分析結果(8 hr 轉FLEX)

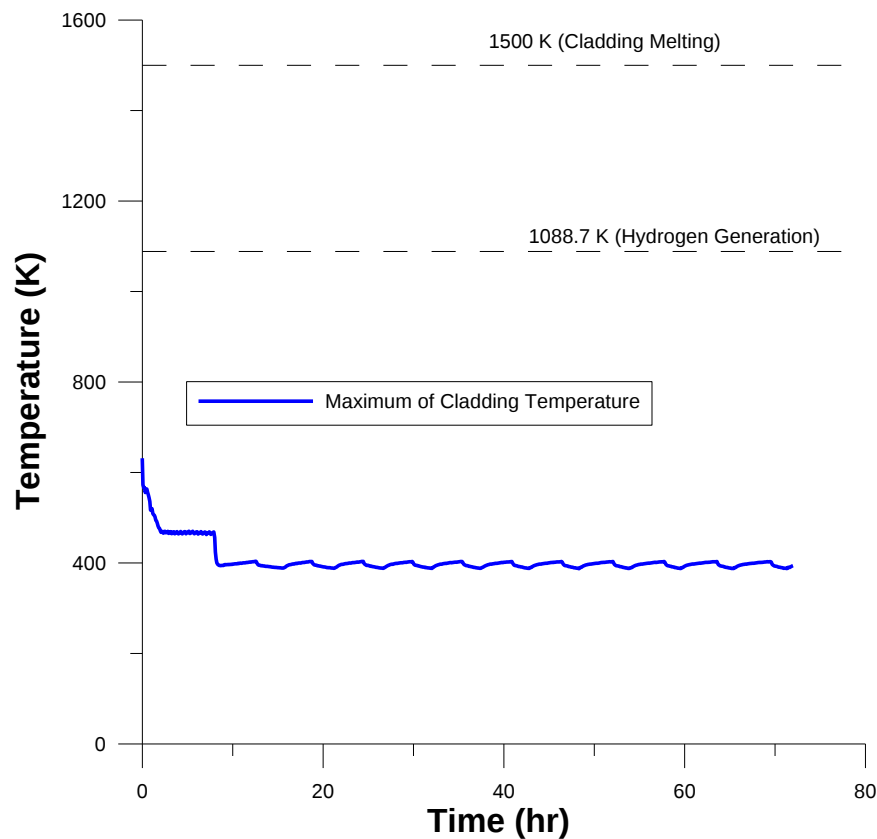


反應爐壓力變化

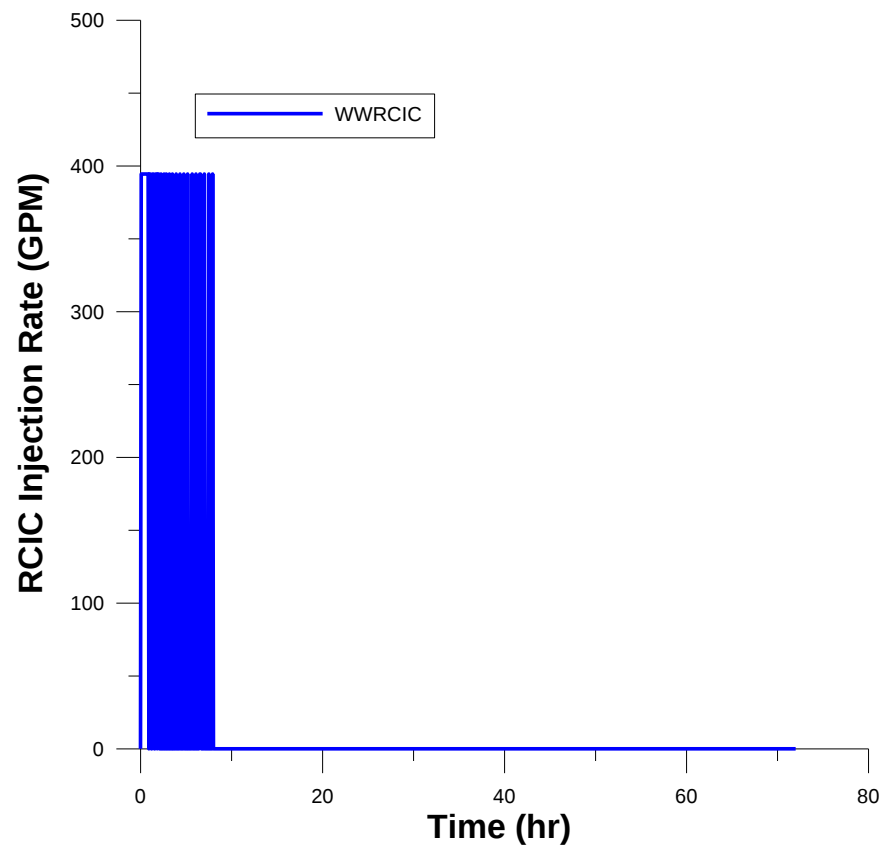


反應爐側板水位變化

FLEX延伸案例分析結果(8 hr 轉FLEX)

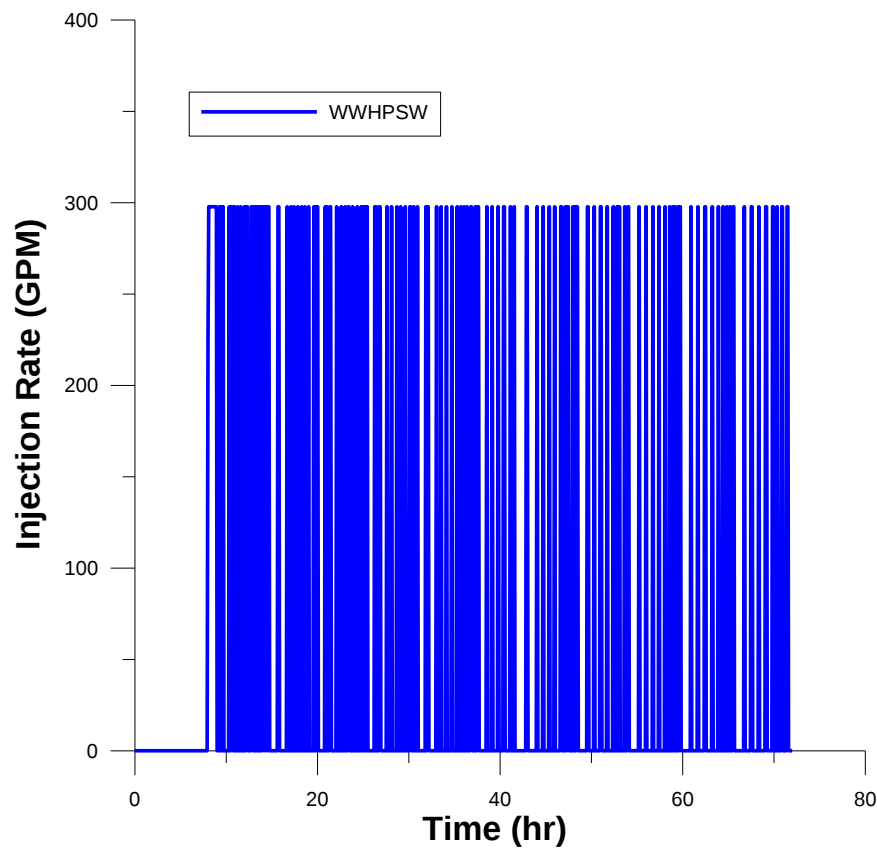


最高護套溫度變化

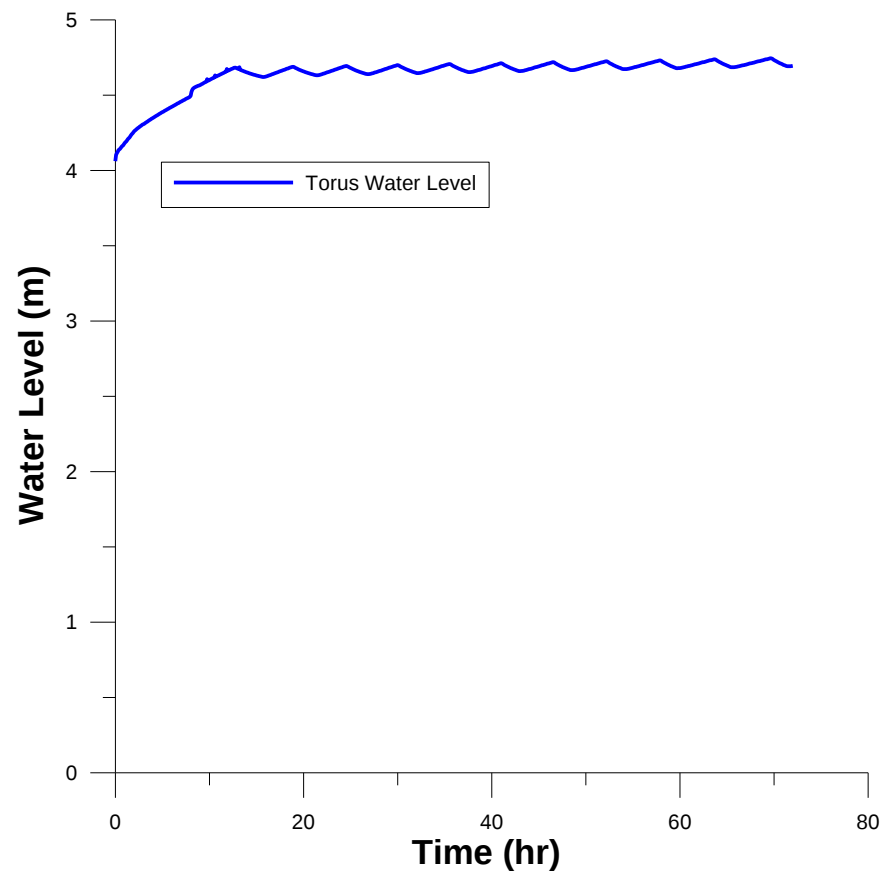


反應爐注水流量變化(RCIC)

FLEX延伸案例分析結果(8 hr 轉FLEX)

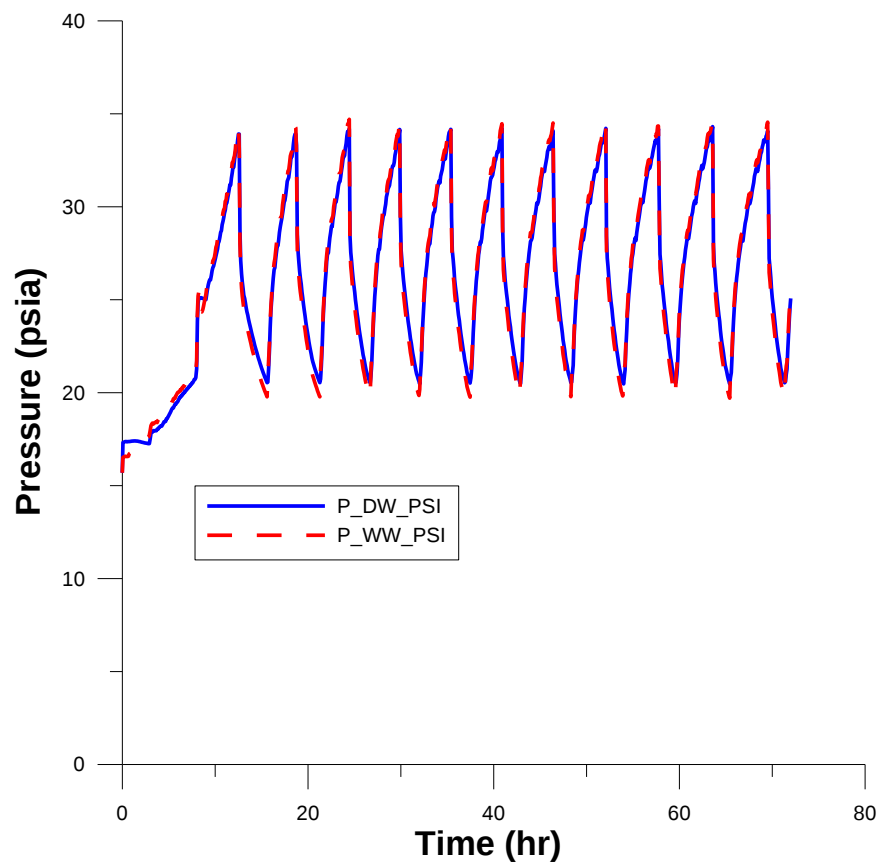


反應爐注水流量變化(外部注水)

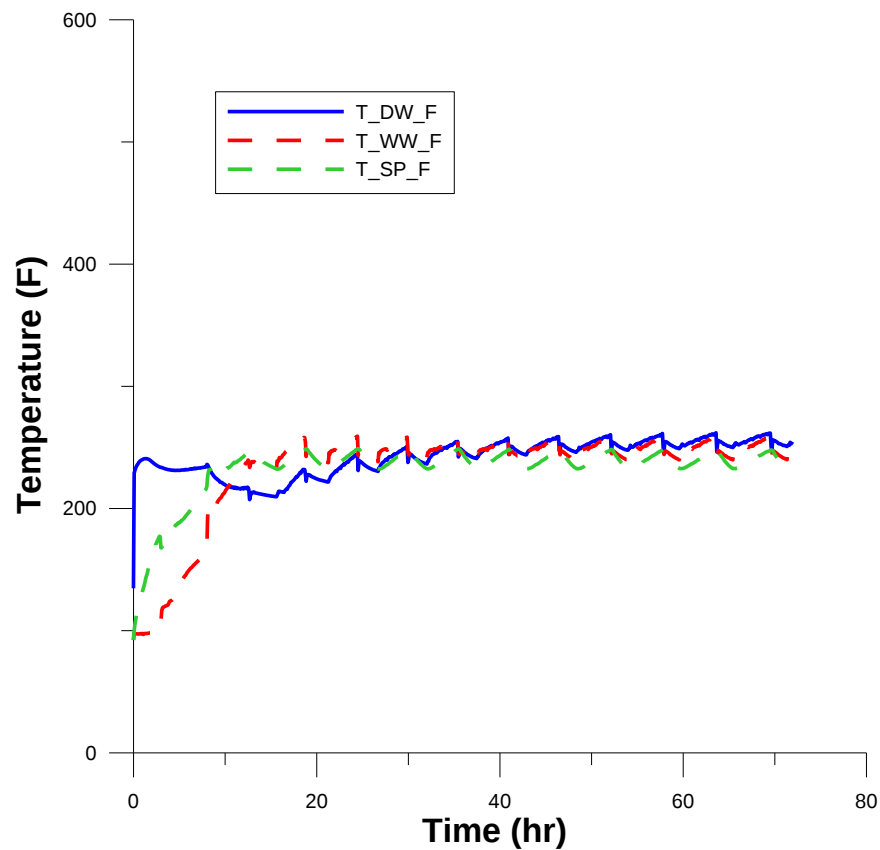


Torus水位變化

FLEX延伸案例分析結果(8 hr 轉FLEX)



圍阻體壓力變化



圍阻體溫度變化

結論

- 核一廠FLEX模擬分析結論：
- 基本案例分析結果顯示，在RCIC之可用性可達24小時的前提下，若能利用12吋管排氣(實際上為14吋管)，將可維持圍阻體各個參數(壓力、氣溫、水溫)於設計限值之下，可以維持爐心適當冷卻。
- 依FLEX 延伸分析結果顯示，14吋排氣管路的可用性極為重要。若14吋排氣管路的可用性可以得到確保，無論是24小時或8小時反應器緊急洩壓並以低壓替代注水(消防水)均足以冷卻爐心，並維持爐心水位。

謝謝您的聆聽