

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

赴美國核管會實習

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

出國人 職 稱：助研員

姓 名：王德全

出國地區：美國

出國期間：90年06月01日至90年08月31日

報告日期：90年10月29日

摘要

三哩島事故後，在美國核管會(NRC)召集下成立了國際性的嚴重事故研究計畫(CSARP)，我國也是 CSARP 會員國之一，而 SCDAP/RELAP5 程式即為 CSARP 計畫下所發展之驗證事故處理導則的工具，目前正由美國 ISL(Information System Laboratory)公司負責發展及維護。

核研所已於 89 年度引進此程式，基於日後工作需要，赴美國核管會實習三個月(6/1~8/31)，主要工作有：1.建立核二廠 SCDAP/RELAP5 程式輸入資料檔及整廠穩態條件，2.將核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.2 程式升級到 3.3 版，3.核三廠全黑事故的運跑，4.了解 SCDAP/RELAP5 程式圖形使用者界面軟體(XMGR)的使用，5.與 ISL 公司經驗交流，了解國外使用 SCDAP/RELAP5 程式的現況並解決目前國內使用程式所遭遇的問題。此次公差行程自 90 年 6 月 1 日至 8 月 31 日止，共計 92 天。以下對此次公差作一概要說明：

此次實習主要由 NRC 負責接待，ISL 公司協助解決使用 SCDAP/RELAP5 程式所遭遇的問題，並提供實習期間所需的資料。本次實習已完成核二、三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式輸入資料檔及整廠穩態條件的建立，另外也完成核三廠全黑事故的運跑與資料的整理。ISL 公司也簡報 SCDAP/RELAP5 程式發展現況，目前該公司正積極將工作站上之 SCDAP/RELAP5 程式移植到個人電腦上，有助於日後 SCDAP/RELAP5 程式的使用與維護。

目次

摘要	頁碼
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	6
四、建議.....	8
五、附錄.....	9

一、目的：

本次赴美國核管會實習主要的目的有以下幾項：

- 1.建立核二廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式爐心 (SCDAP)與爐底失效(COUPLE)模式輸入資料檔，並完成核二廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式整體模式的連結。
- 2.使用 RELAP5 程式所提供的控制器組件(Controller Components)，建立核二廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式整體模式的穩態條件，以利日後事故序列的模擬。
- 3.核研所核工組已完成核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.2 程式穩態條件與整體模式的建立，因此希望能將核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.2 版程式升級到 3.3 版。
- 4.XMGR 軟體是工作站的繪圖工具，方便程式使用者運跑後的分析，CSARP 計畫下發展的程式幾乎都可使用，因此想了解 XMGR 軟體的使用。
- 5.美國核管會今年初已將 SCDAP/RELAP5 程式的維護，由愛達荷國家實驗室 (INEEL) 移轉到 ISL(Information System Laboratory)公司，因此希望藉由此次實習機會能與 ISL 公司建立合作管道，並解決目前國內使用程式所遭遇的問題。

二、過程

本次國外公差之行程如下：

- 90年6月1日 自台北飛抵美國洛杉磯(過境一日)
- 90年6月2日 自洛杉磯抵達華盛頓特區
- 90年6月3日~8月29日 核管會實習
- 90年8月30日~31日 自華盛頓特區返回台北

詳細實習過程敘述於後：

SCDAP/RELAP5 程式係在美國核管會(NRC)資助下,由美國愛達荷國家實驗室(INEEL)發展出來的機制型嚴重事故處理分析程式,可以模擬核能電廠嚴重事故處理措施的效益。SCDAP/RELAP5 程式分為 RELAP5 及 SCDAP 兩大部份,RELAP5 程式為整個 SCDAP/RELAP5 程式的核心,舉凡熱水流模式、熱結構體、爐心中子等,都是 RELAP5 程式主要的架構,而 SCDAP 程式負責爐心的計算,包含爐心升溫、爐心熔毀、爐心重置(relocation)、下部區間完全蒸乾等現象的模擬。核研所已於 89 年度引進此程式,目前正逐步推廣應用到國內之核能電廠。本次赴美實習主要目的是要建立核二、三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式輸入資料檔,並了解國外發展 SCDAP/RELAP5 程式的現況及使用情形。此次實習地點為美國核管會,核管會位於美國首府華盛頓特區的近郊,首先與核管會 SCDAP/RELAP5 計畫負責人 Mr. Rubin 會面,Mr. Rubin 簡報 SCDAP/RELAP5 程式計畫發展現況,美國核管會今年已將 SCDAP/RELAP5 程式的維護,由 INEEL 移轉到 ISL 公司,ISL 公司與 NRC 距離相當近(約 10 分鐘路程),非常方便這次實習工作的進行。本次赴美實習行程自 90 年 6 月 1 日至 8 月 31 日止,共計 92 天。以下

對本次實習工作內容作一概要說明：

1. 核二廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式的建立：

首先建立核二廠爐心模式(SCDAP)與爐底失效模式(COUPLE)輸入資料檔，SCDAP 輸入資料檔包含爐心功率分佈、爐心控制容積的幾何形狀、燃料與控制棒的數目、尺寸及重量等。COUPLE 輸入資料檔包含爐底材料與幾何形狀、爐底控制容積格點的建立，COUPLE 為二維之爐底失效模式，主要利用有限元素法計算爐底所承受的應力與應變，另外也可計算下底部區間燃料與冷卻水的作用(Fuel-Coolant Interaction, FCI)。核研所核工組熱流分析分組已完成核一、二、三廠 RELAP5 程式的建立，因此當上述兩項模式完成後，連結已完成之核二廠 RELAP5 程式，就完成核二廠整廠輸入資料檔的建立。另外為了模擬出較正確之事故序列，必須建立一正確之程式初始狀態，而 RELAP5 程式提供有效的控制器組件(Controller Components)，可較方便建立正確的初始狀態。因此利用 RELAP5 程式提供之控制器組件，模擬實際電廠重要參數的控制系統，控制參數包括反應器壓力槽水位、壓力及爐心流量，接著調整比例常數(Proportional Constant)和積分時間常數(Integral Time Constant)，最後完成核二廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式穩態條件的建立，核二廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式穩態條件見附件一。

2. 核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式的建立：

實習前已完成核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.2 程式整廠模式的建立，因此希望在實習期間能將核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.2 程式升級到 3.3 版。在理論模式方面，SCDAP/RELAP5/MOD3.3 版程式的新增功能有：下

部區間(Lower Plenum)爐心熔渣之層化模式、 FCI 模式、多孔性熔渣之熱傳與流阻模式的改進、以及爐外冷卻模式的精進等。在輸入資料檔方面，SCDAP/RELAP/MOD3.3 在 RELAP5 程式方面並無變更，主要是 SCDAP 程式的升級，將 SCDAP 3.3 版程式新增或修改的輸入資料檔整理如下：

新增或修改輸入卡號	狀況
40000300 (燃料棒熔化與氧化輸入)	修改
40000310 (燃料棒熔化與氧化輸入)	修改
40000320 (爐心熔渣池擴散與下跌輸入)	修改
40000330 (燃料棒的碎化輸入)	修改
50005000 (燃料與冷卻水作用輸入)	新增
50006000 (燃料與冷卻水作用輸入)	新增
50007000 (燃料與冷卻水作用輸入)	新增
50008000 (FCI 控制容積輸入)	新增
50009000 (FCI 控制容積輸入)	新增
5m010000 (爐底熔渣模式輸入)	修改

根據以上新增及變更項目修改核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.2 程式，並重新測試核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式穩態條件，最後完成核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式整廠模式的建立，核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式穩態條件見附件二。

3. 核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式全黑事故的運跑：對核三廠進行全黑事故序列的分析，此事故序列起始於電廠發生全黑事故(喪失廠內外所有交流電源)，因此主蒸汽隔離閥(MSIV)關閉，飼水泵跳脫，緊急爐心冷卻水系統(ECCS)中的高壓及低壓注水系統，均因喪失交流電源而無

法作用，因此完全喪失可提供爐心冷卻的系統。從事故起始、蒸汽產生器蒸乾、爐心裸露、氫氣產生、爐心熔毀、下部區間完全蒸乾、爐底失效等現象，SCDAP/RELAP5 程式均能成功的模擬，核三廠全黑事故序列與相關的重要參數見附件三。

4. XMGR 軟體的使用

XMGR 軟體是 CSARP 計畫下，委託 INEEL 所發展之工作站繪圖工具，因此 CSARP 計畫下發展的程式(如 RELAP5、SCDAP/RELAP5、MELCOR 等)都能使用，因此可藉由 XMGR 與 SCDAP/RELAP5 程式之連結，產生即時之使用者圖形介面。透過圖形顯示功能可輕易了解各重要參數的變化情形，讓使用者較清楚地了解在嚴重事故發生後，各重要嚴重事故現象的變化情形。而使用者可指定欲顯示之參數，如流量、壓力、溫度、空泡率等，透過極具親和力的圖形顯示系統，有助於使用者了解各節點間之關係，對熱水流現象的分析有莫大的助益。

在實習期間 ISL 公司也為我介紹該公司使用 SCDAP/RELAP5 程式的現況，目前 ISL 公司除進行 SCDAP/RELAP5 程式 PC 版移植工作外，也模擬 SCDAP/RELAP5 程式自然循環模式，由簡報中得知，欲模擬 SCDAP/RELAP5 程式的自然循環現象，必須將程式中反應器冷卻水系統 (RCS) 的熱管、蒸汽產生器入口與出口區間，以及蒸汽產生器 U-型管重新格點化，即可模擬出整體單一方向之自然循環 (Global Uni-direction Flow) 及熱端逆向之自然循環 (Hot Leg Counter-Current Flow)。另外也介紹了一些 SCDAP/RELAP5 程式組件的輸入條件與各組件的理論模式，如 Pipe、Time-dependent

Volume、Single Junction、Pump、Valve、SCDAP、COUPLE 等，對整體 SCDAP/RELAP5 程式的組件有更深一層的了解。最後與 ISL 公司人員研討 SCDAP/RELAP5 模式如 Quench、Debris Pool 以及 Ex-Vessel Cooling 等在事故處理上之應用，研討後一致認為 SCDAP/RELAP5 爐內冷卻模式 (In-Vessel Cooling)、重新淹蓋 (Reflood)、熔融爐心池 (Debris Pool) 等模式都較 MELCOR 程式精良，因此可彌補 MELCOR 程式在這方面的不足，因此 SCDAP/RELAP5 程式是一項很好驗證事故處理導則的工具。

三、心得

三哩島事故發生後，核能界發覺對於嚴重核子事故的現象尚不夠瞭解，分析的工具也不夠準確，在美國核管會的召集下成立國際性的嚴重事故研究計畫 (Severe Accident Research Program, SARP)，在 SARP 計畫結案之後，再成立 CSARP (Cooperative Severe Accident Research Program) 計畫，繼續嚴重事故現象的研究。我國為 CSARP 的贊助會員，可以獲得嚴重事故相關工作的研究成果以及嚴重事故分析程式如 MELCOR、SCDAP/RELAP5 程式等，而 SCDAP/RELAP5 程式係美國愛達荷國家實驗室以 RELAP5 程式為基礎，所發展完成的嚴重事故程式。此次赴美實習，首先了解到國外發展 SCDAP/RELAP5 程式的現況，另外也對 SCDAP/RELAP5 程式有了更深一層的了解，茲將本次實習後的心得整理如下：

1. SCDAP/RELAP5 程式在爐心冷卻、重新淹蓋等部份，都有著詳細的理論模式基礎，可彌補 MELCOR 程式的

不足，所以在審查事故處理導則時，可先使用 MELCOR 程式作初步的分析，需要有較詳細之爐心冷卻、重新淹蓋等分析時，可採用 SCDAP/RELAP5 程式加以補強，兩者相輔相成，是管制單位審查事故處理導則的有利工具。

2. ISL 公司預計今年底完成 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式個人電腦(LINUX 版)的移植工作，可降低使用者硬體成本，對使用者而言提供更簡易、方便的作業環境，提高程式應用的價值，值得國內引進使用。
3. 以往 RELAP5 或 SCDAP/RELAP5 程式使用者大都使用試誤法(Trial-And-Error)建立初始的穩態條件，此種方法不但費時，而且較不容易達到正確的穩態條件，程式使用者可使用 RELAP5 程式所提供 PUMPCTL、STEAMCTC、FEEDCTC 等控制組件，完成 RELAP5 或 SCDAP/RELAP5 程式穩態條件的建立，實習前已利用此方法完成核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.2 程式穩態條件的建立，並撰寫成所內報告(INER-1914，題目為：Self-initialization Algorithm of SCDAP/RELAP5 Computer Code)，此方法也獲得 ISL 公司相關人員的肯定，值得 RELAP5 及 SCDAP/RELAP5 程式使用者採用。
4. 目前核研所應積極將 SCDAP/RELAP5 程式核一、二、三廠之輸入資料檔建立完成，並完成相關之穩態與暫態分析，之後可考量如何將 SCDAP/RELAP5 程式應用到事故處理導則上，這部份可由 ISL 公司及 INEEL 提供相關之經驗，相信對國內嚴重事故的分析將有莫大之助益。

四、建議

此次赴美國核管會實習對 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式的了解、問題的解決以及經驗的交流均有莫大之助益，也了解到國外在程式使用及研發的現況。茲將本次國外公差之兩點建議詳列如下：

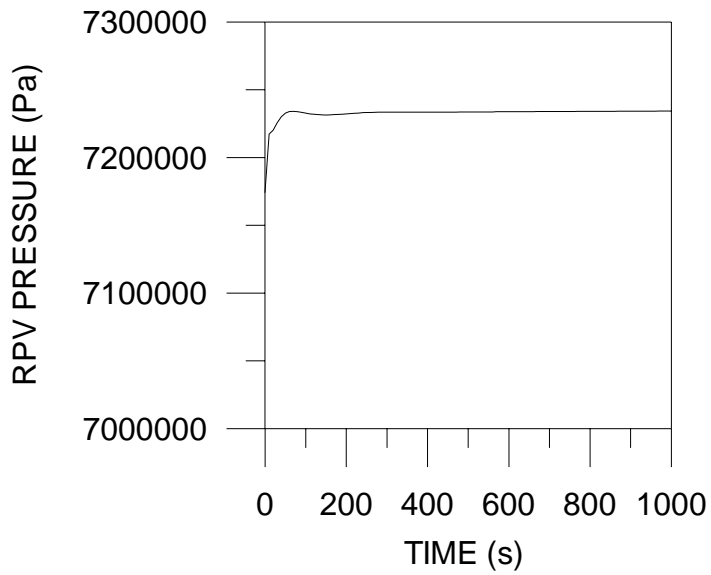
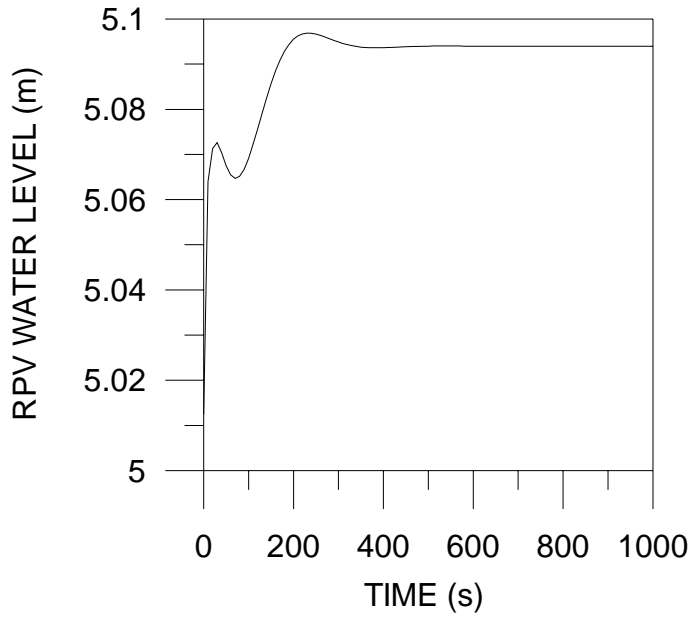
1. 引進 PC 版之 SCDAP/RELAP5 程式:目前在 PC 上運跑 SCDAP/RELAP5 程式的速度已經和工作站上的運跑速度差不多，但在 PC 上運跑程式不僅可以降低相關硬體成本，而且較易維護、使用。目前核研所 SCDAP/RELAP5 程式是在工作站上運跑，較不符合經濟效益，因此可積極與 ISL 公司連繫，儘速將 PC 版之 SCDAP/RELAP5 程式引進國內。
2. 加強與 INEEL 及 ISL 公司的合作:INEEL 為 RELAP5 及 SCDAP/RELAP5 程式的原始發展者，ISL 公司對 SCDAP/RELAP5 程式也有深入的了解。國內目前正積極建立核一、二、三廠 SCDAP/RELAP5 程式輸入資料檔，在建立過程中難免遭遇問題，可和 INEEL 及 ISL 公司建立合作關係，邀請 INEEL 及 ISL 公司專家來所舉辦研討會，對於程式輸入檔的建立與問題的解決，都會有很大之助益。另外亦可將建立完成之 SCDAP/RELAP5 程式輸入資料檔，委託 INEEL 或 ISL 公司審查，更可確認程式輸入檔建立之正確性。

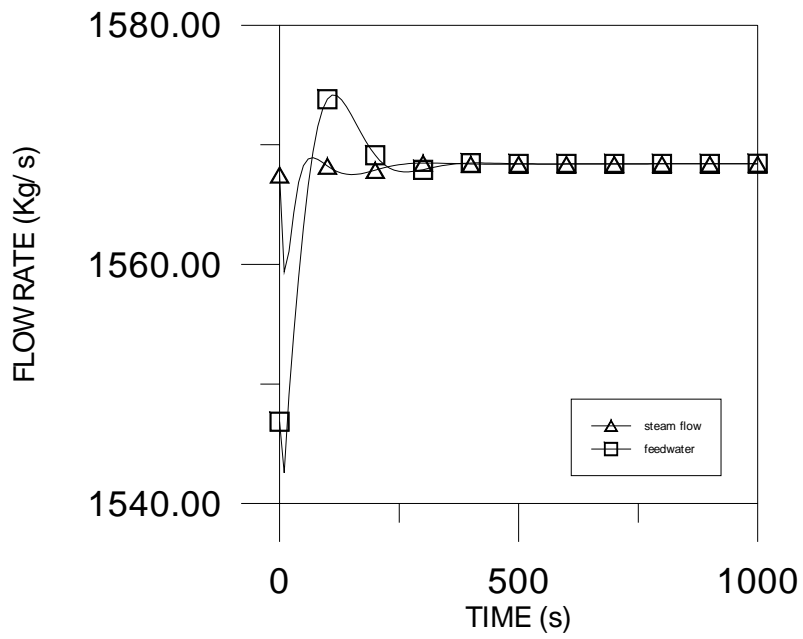
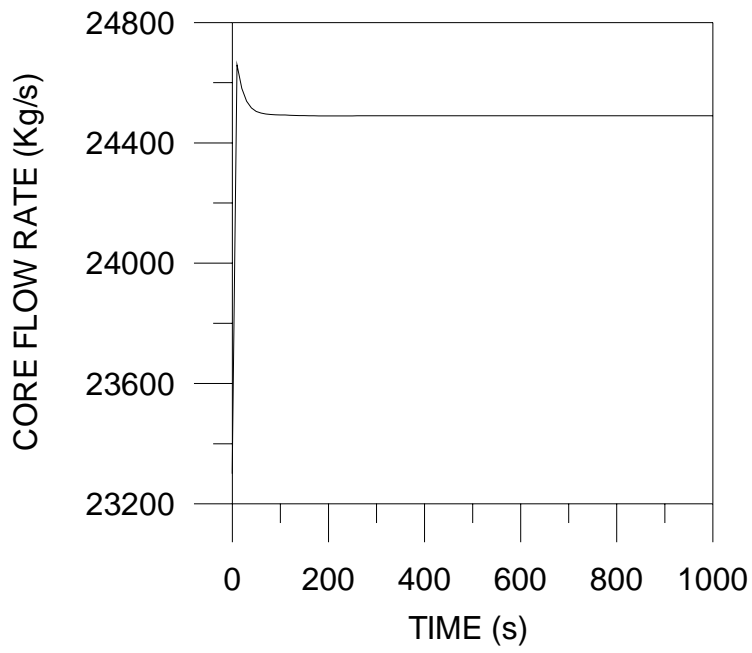
五、附錄

赴美國核管會實習的資料（存放核研所核工組）。

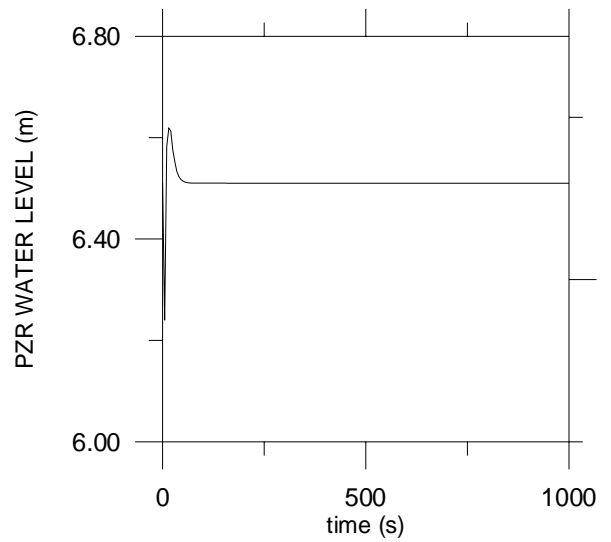
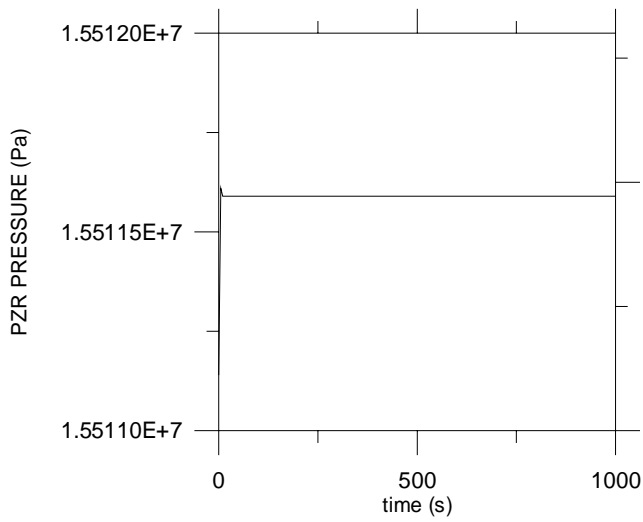
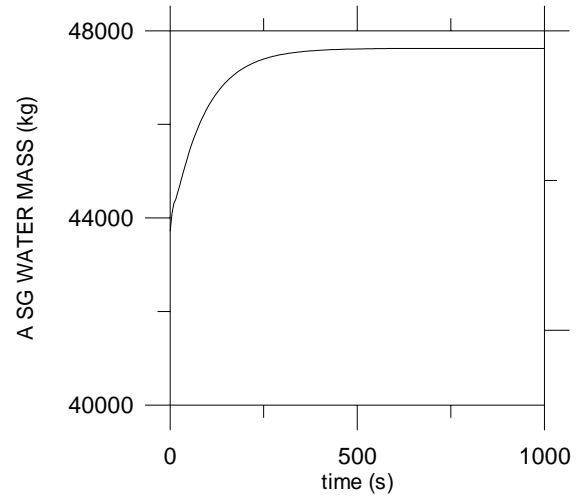
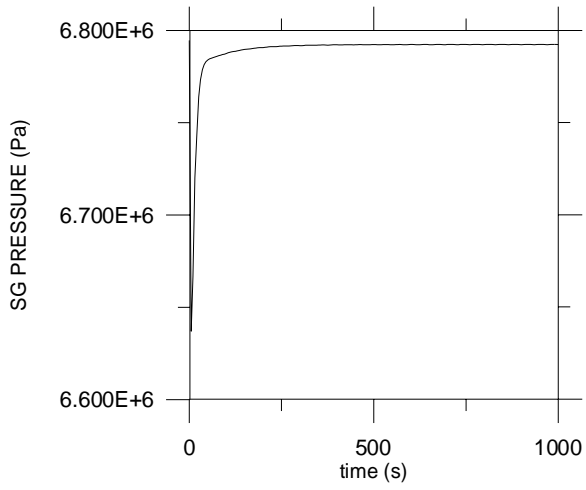
1. SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式理論模式與使用手冊(含光碟片)。
2. SCDAP/RELAP5/MOD3.3 BWR 範例程式。
3. SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式原始碼與執行檔(HP 工作站版本)。

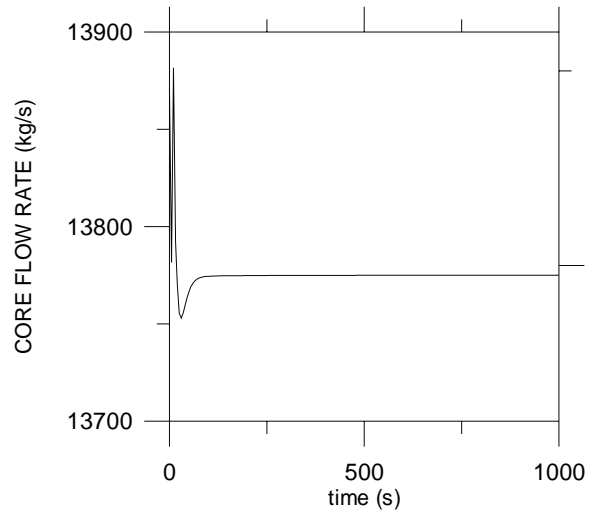
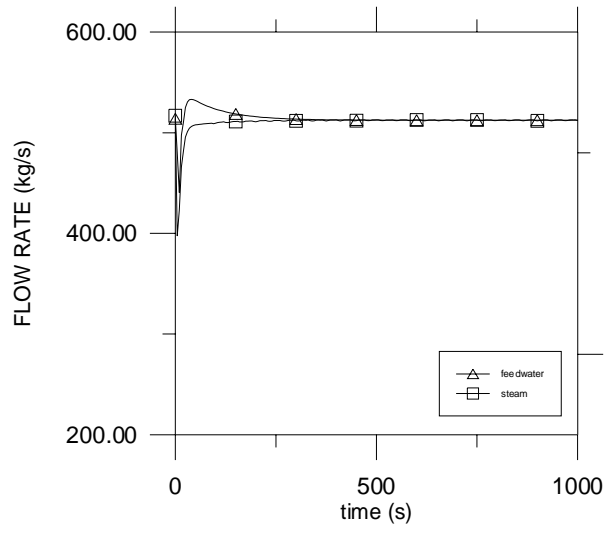
附件一 核二廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式穩態條件





附件二 核三廠 SCDAP/RELAP5/MOD3.3 程式穩態條件





附件三 核三廠SCDAP/RELAP5/MOD3.3程式全黑事故序列 及圖形

事件	時間(秒)
反應器急停	0.0
蒸氣產生器蒸乾	3760
爐心裸露(TAF)	5672
燃料護套氧化	6613
控制棒熔損	6867
爐心蒸乾(BAF)	6962
熔渣形成	7151
熔融爐心池形成	7192
爐心支撐板失效	8605
爐底失效	8715

