



# 腐蝕監測技術在核能電廠 之應用實例

賴玄金、毛維雲

工業技術研究院 材料與化工研究所

朱 方

台灣電力公司 核能發電處

*Feb.20, 2008*



# 台灣核電廠應用線上監測技術的目的

- ❑ 系統狀況診斷
- ❑ 材料劣化評估
- ❑ 協助水化學的最佳化
- ❑ 支援電廠老化管理

# 線上監測技術之應用(1/2)

## □ 電化學電位(ECP) 裝設於

- 核一廠 (RPV bottom head drain line)
- 核二廠 (RWCU pump outlet)
- 核三廠二次測 (HP heater)

## □ 裂縫成長(CGR) 裝設於

- 核一廠 (RPV bottom head drain line)
- 核二廠 (RWCU pump outlet)
- 核一及核二廠於RRS及RWCU進行化學除污時

## □ 電化學雜訊(ECN)及腐蝕速率試片裝設於

- 核一及核二廠於RRS及RWCU進行化學除污時

# 線上監測技術之應用(2/2)

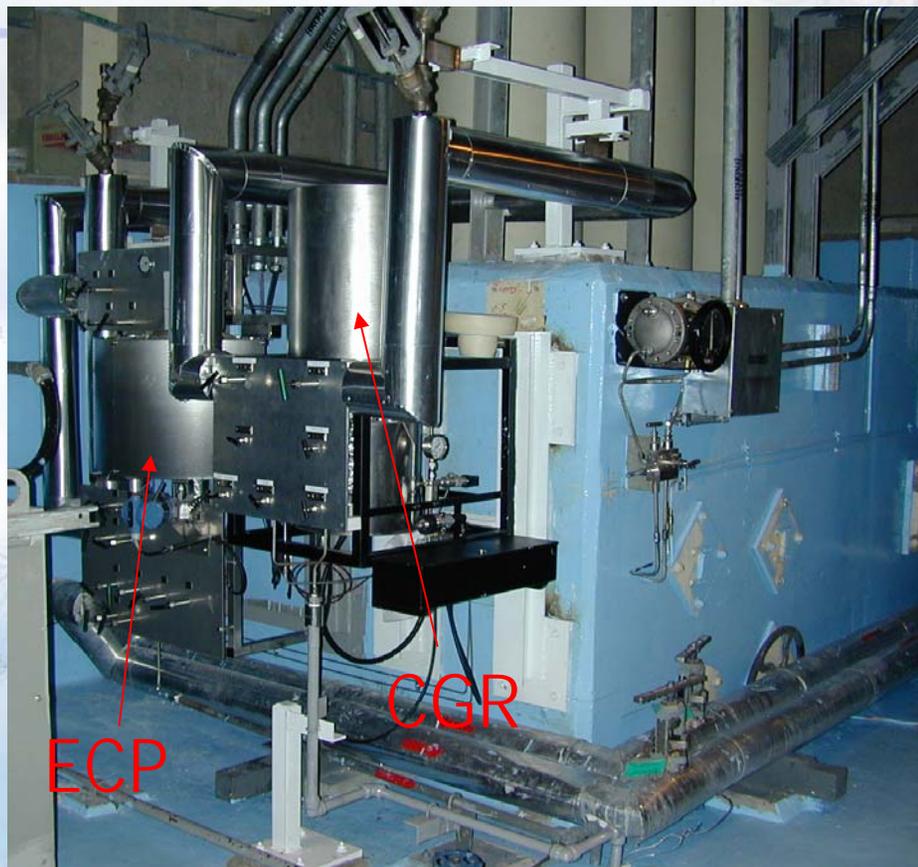
- 線性極化阻抗(LPR) 監測設備裝設於
  - 核二廠的NCCCW 及 TPCCW的管路上
- 直流電壓降(RDC PD)及腐蝕速率試片裝設於
  - 核三廠二次測之除氣系統

# 電化學電位量測

## 核一廠#1及核二廠#2

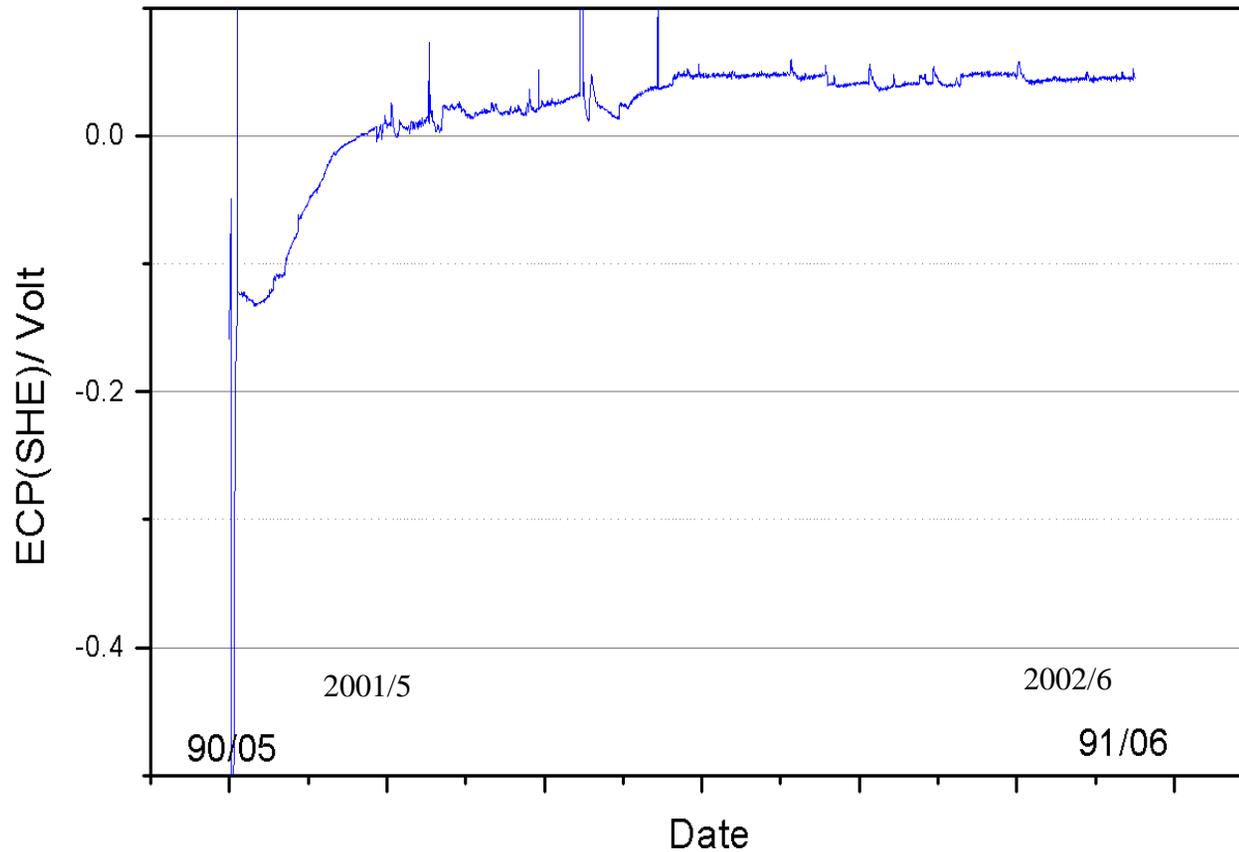


## 核一廠#1的 ECP及CGR監測系統



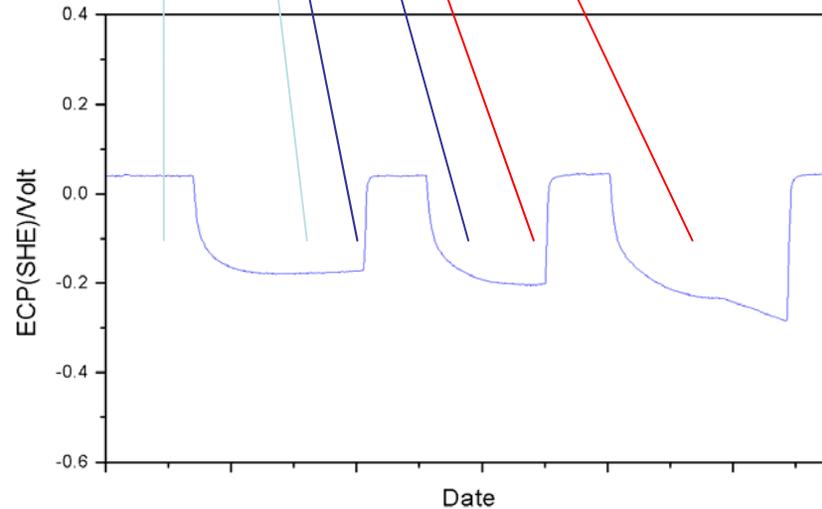
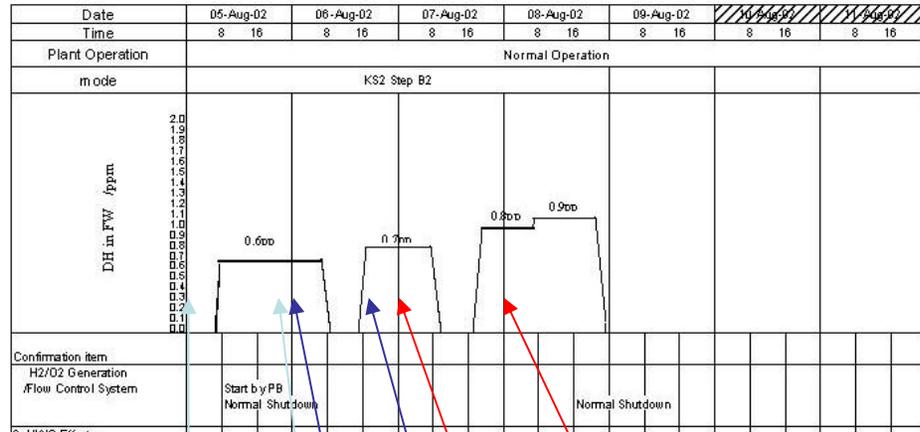
## 核二廠#2的 ECP及CGR監測系統

# 核二廠#2於常態水化學狀況(NWC) 下的ECP量測



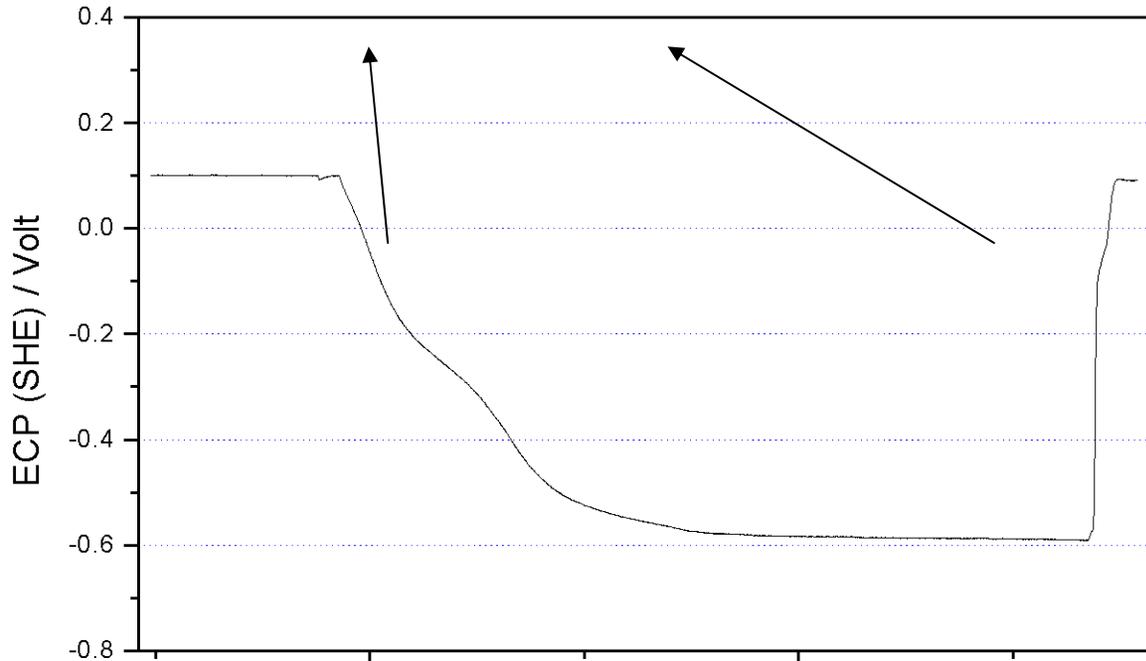
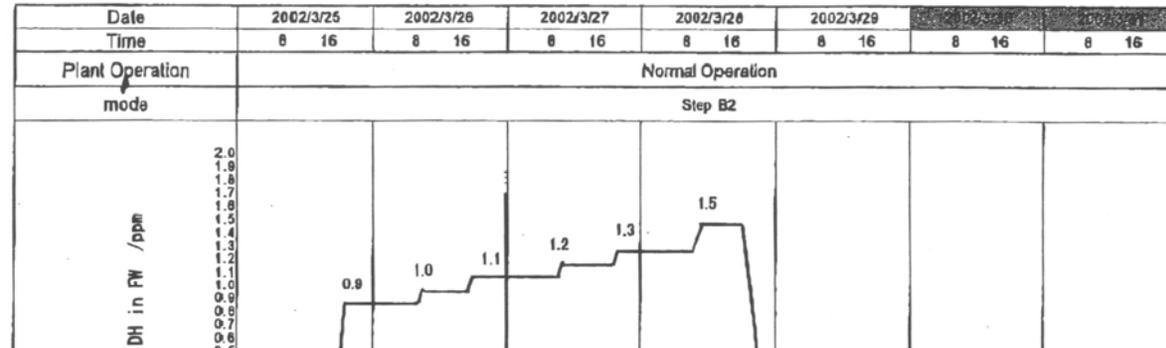


# 核二廠#2於加氫水化學(HWC)測試中的ECP數據





# 核一廠#1於加氫水化學(HWC)測試中的ECP數據



## 彙總 – BWR 電廠之ECP量測

- 核二廠#2於常態水化學狀況(NWC)下的ECP長期量測數據是100mV(SHE)。
- 為控制ECP數值小於 $-230\text{mV(SHE)}$ ，其最小飼水溶氫量，在核一廠#1是0.9ppm，在核二廠#2是1.0ppm。

# 在PWR 二次側的電化學電位監測



# 在二次側飼水環境的ECP系統



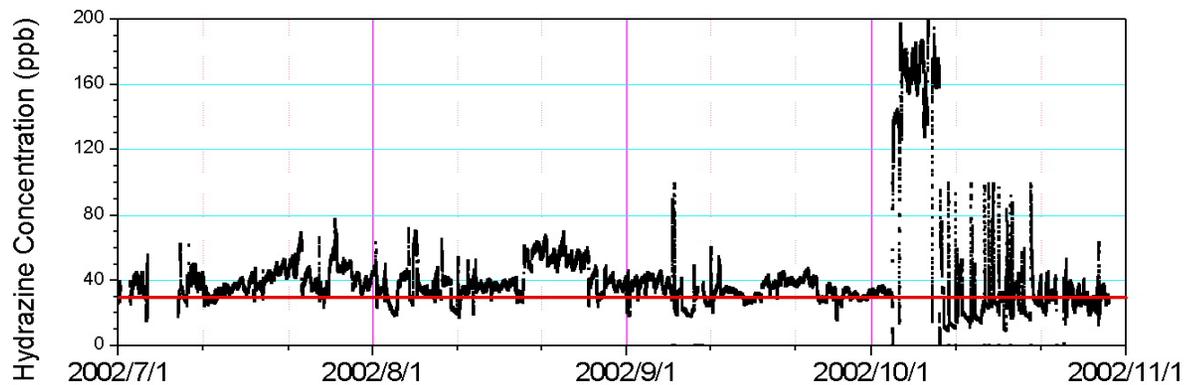
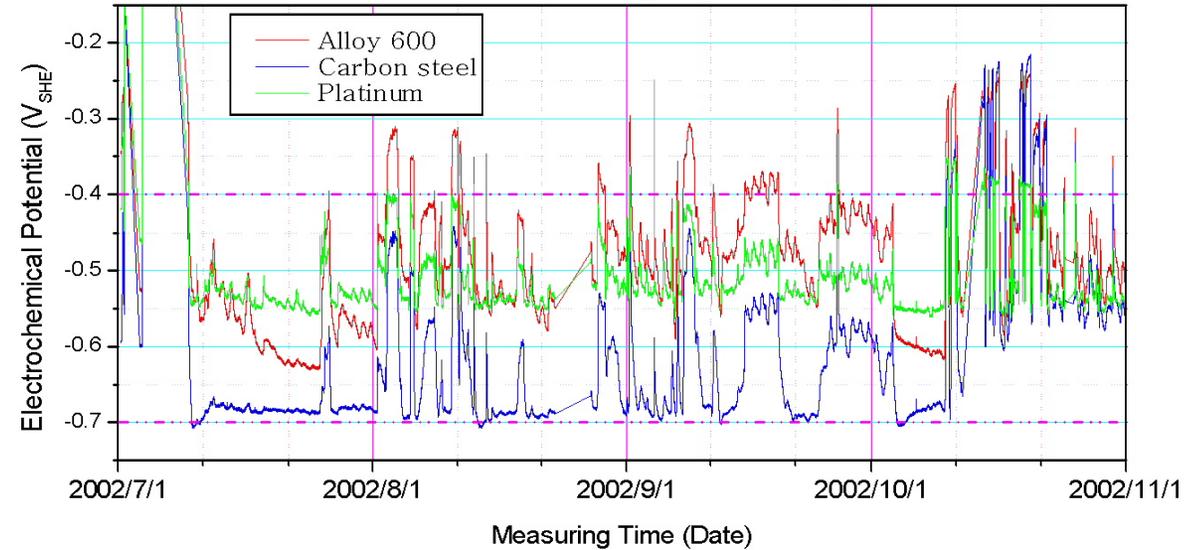
電位量測系統



數據收集系統

# PWR二次測電化學電位(ECP)量測數據

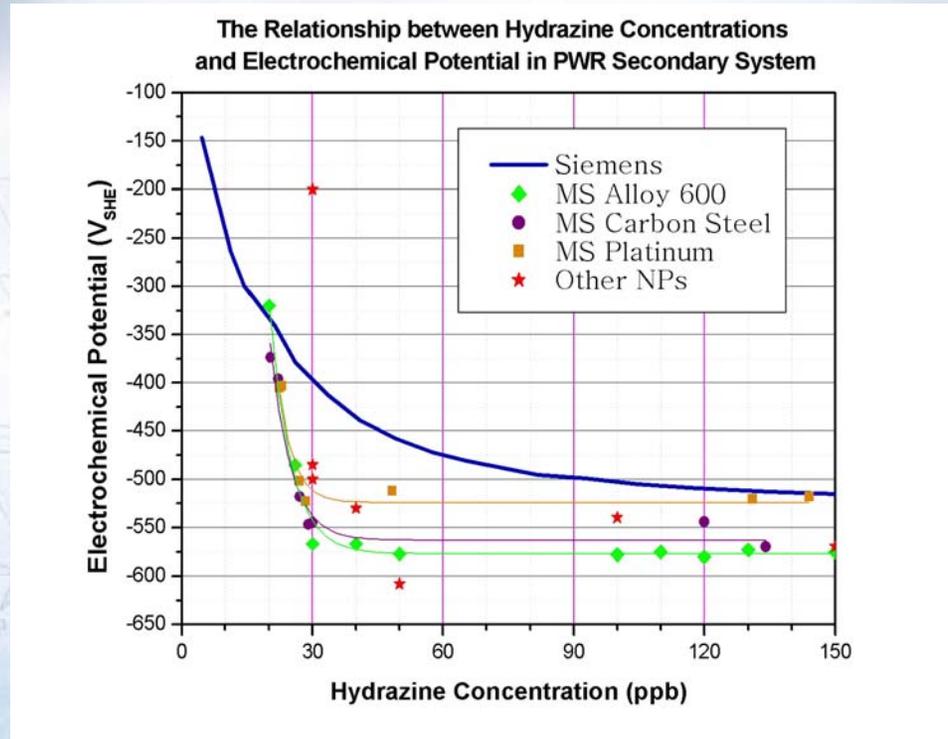
## Unit-2 Secondary Water System



## 對電化學電位控制範圍的建議

- ❑ Alloy 600 低於  $-500 \text{ mV(SHE)}$  。
- ❑ 碳鋼高於  $-700 \text{ mV(SHE)}$  。
- ❑ 用調整  $\text{N}_2\text{H}_4$  濃度的方式來控制 ECP 在所  
要的範圍內。

# $N_2H_4$ 與 ECP 關聯性



最佳  $N_2H_4$  的濃度是 25 到 30 ppb 之間

## 彙總 - PWR二次側的電化學電位監測

- ECP監測系統能迅速反應二次側飼水之氧化還原狀態，也可做為二次側之異常含氧或洩漏偵測器。
- PWR二次側環境中鎳合金之應力腐蝕破裂現象可由改變至較還原性水質來抑制。但二次水質聯氨(hydrazine)濃度調整，可藉由預防材料腐蝕之適當ECP範圍值之監測，以達成最佳化水化學控制。

# 裂縫成長速率(CGR)監測

核一廠#1及核二廠#2

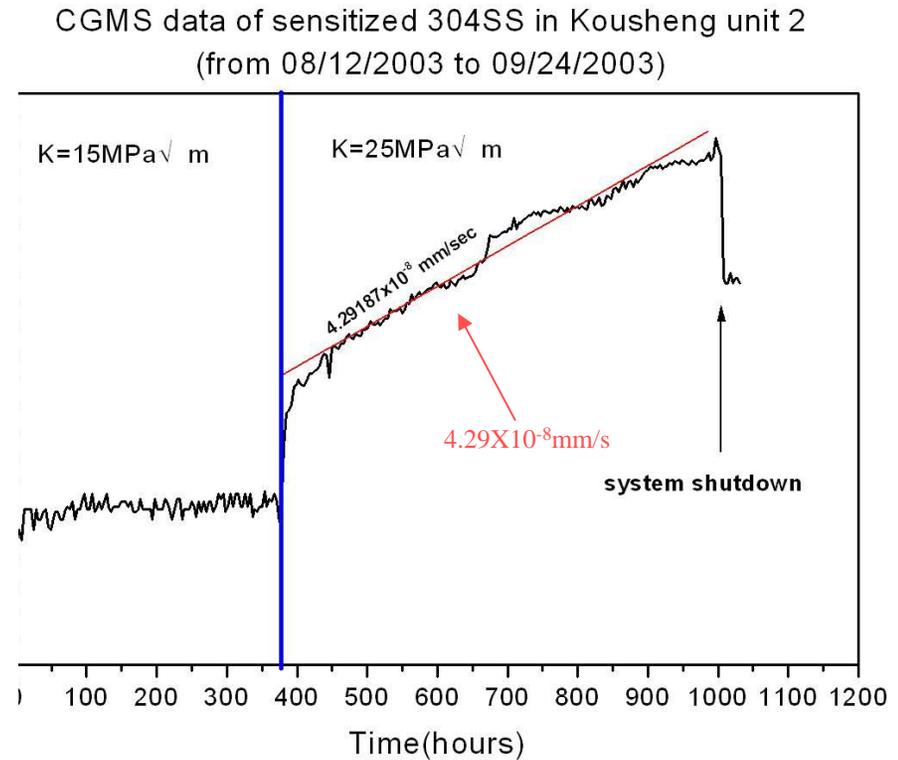
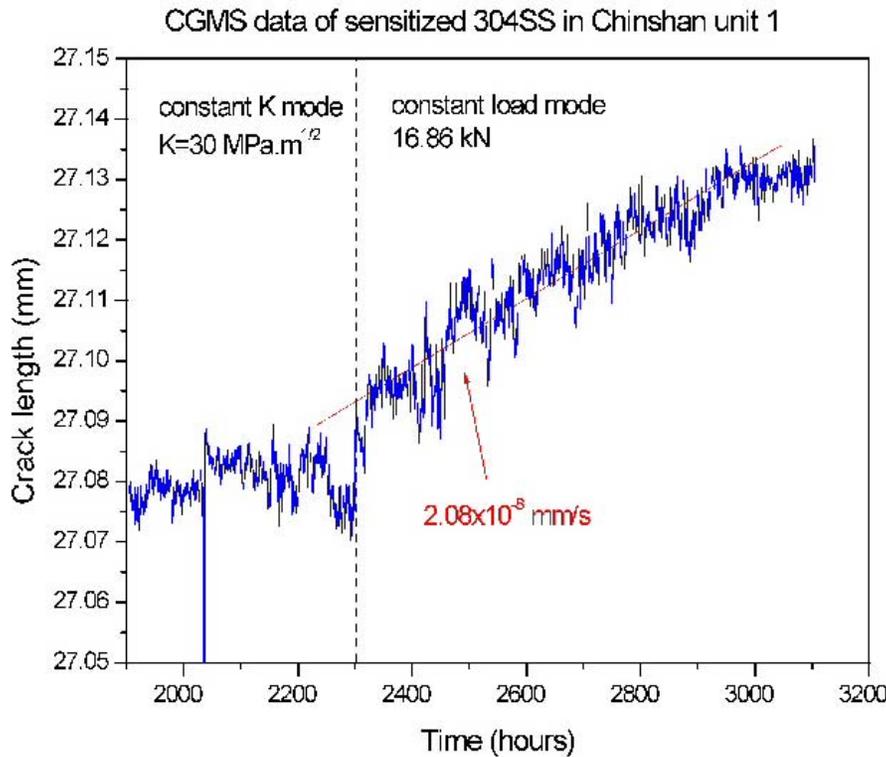


# 安裝於拉伸試驗機上 1"厚的直流電壓降試片

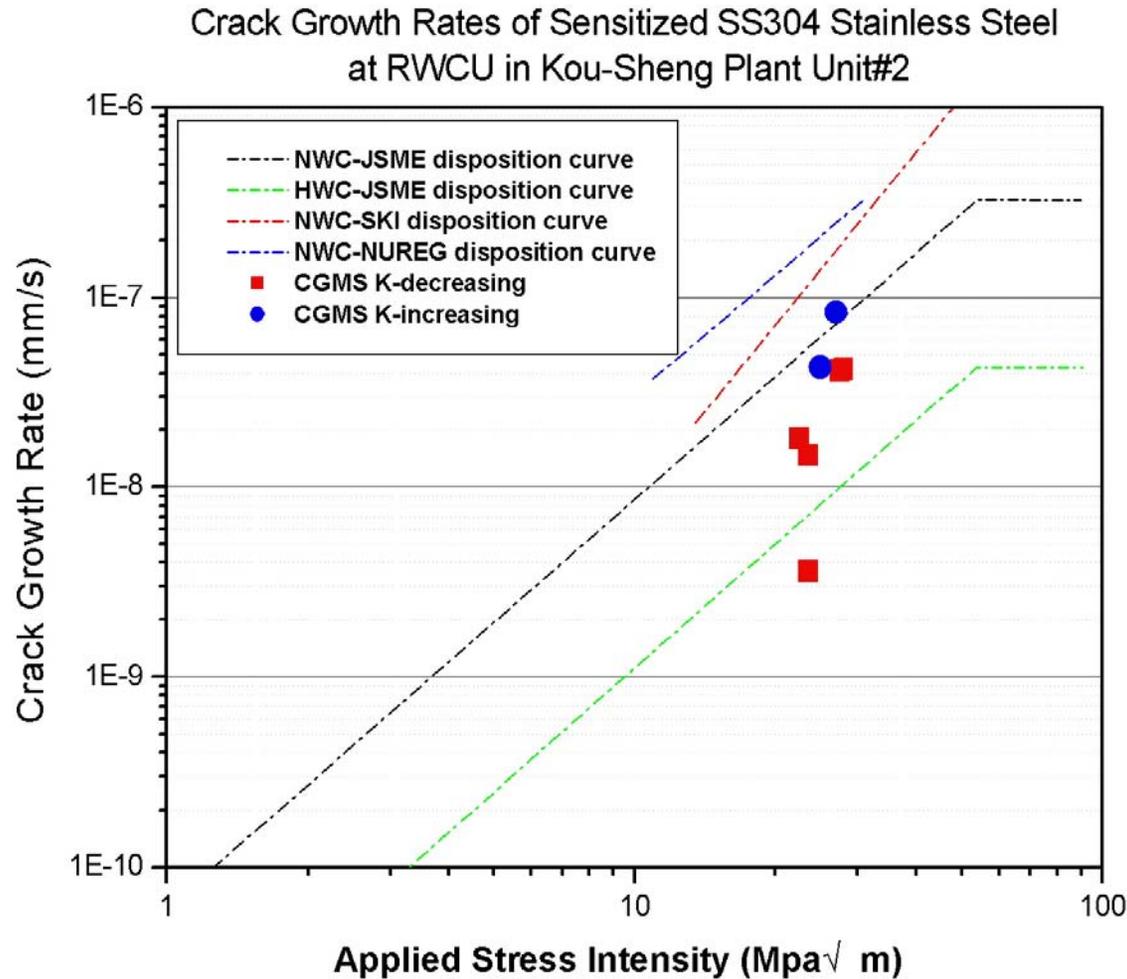




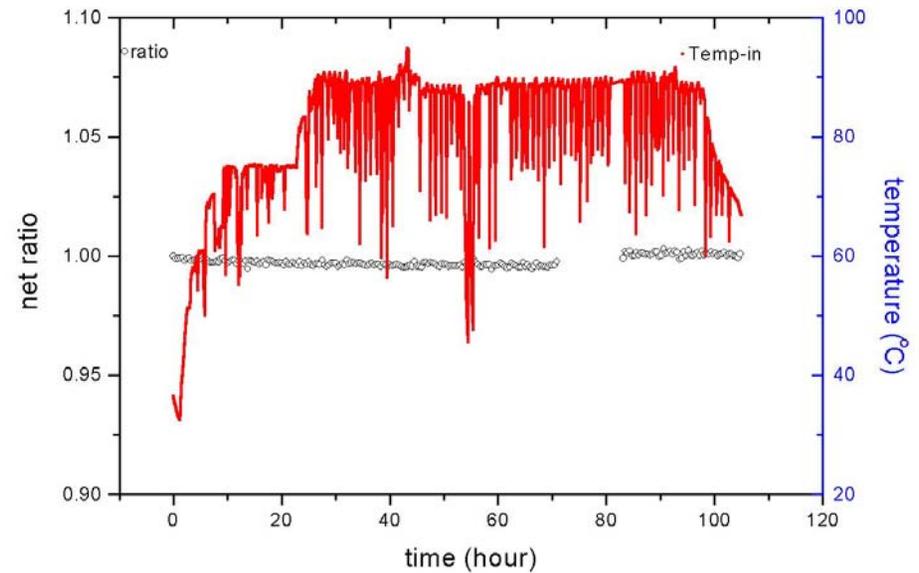
# 核一廠#1/核二廠#2於常態水化學 狀況(NWC)下的CGR 量測



# 敏化 304 不銹鋼在常態水化學狀況 (NWC)下的CGR 量測



# 化學除污過程中裂縫成長監測



WOL 試片於除污過程中裂縫未成長

# 彙總-BWR裂縫成長監測

- 在核一廠#1及核二廠#2均已成功使用 WOL 試片在一般運轉及化學除污狀況下來量測 CGR。
- 目前台電BWR電廠所量測出的 CGR數值均低於處置曲線之預測值。
- 近期將進行敏化304不銹鋼於 HWC環境下CGR之量測。

# 電化學雜訊(ECN)監測於化學除 污環境下之應用



# 化學除污環境下所使用的 腐蝕監測電極

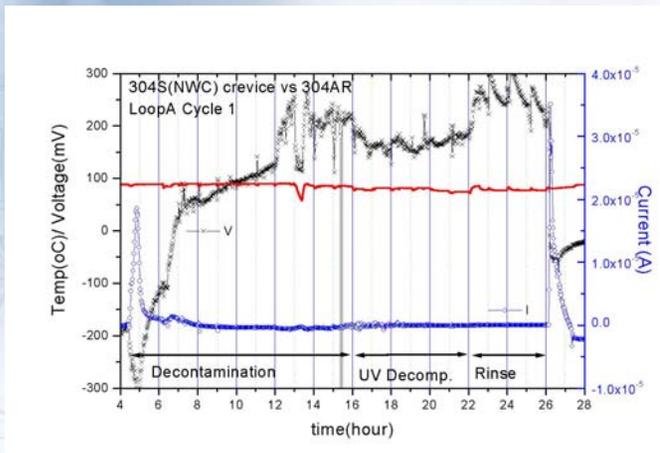


腐蝕試片

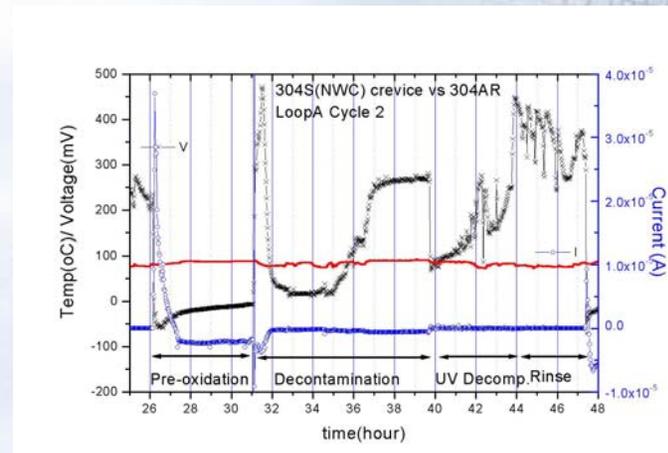


電化學電極

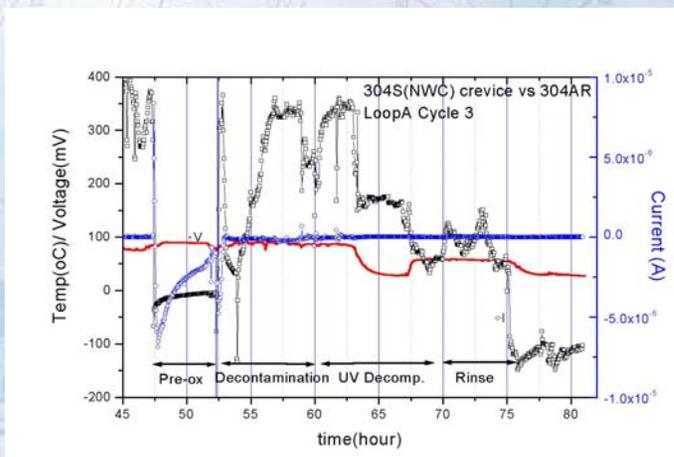
# 以電化學雜訊(ECN)監測 化學除污過程.



*RRS-A Cycle 1 -- CORD UV*

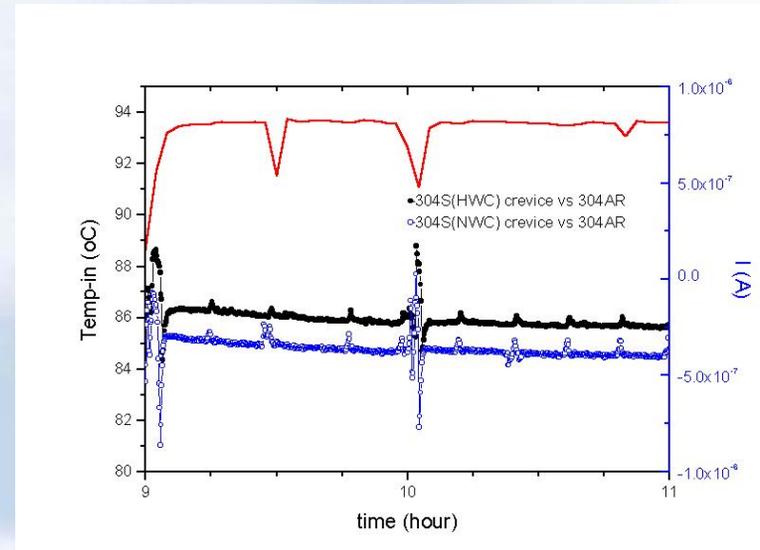
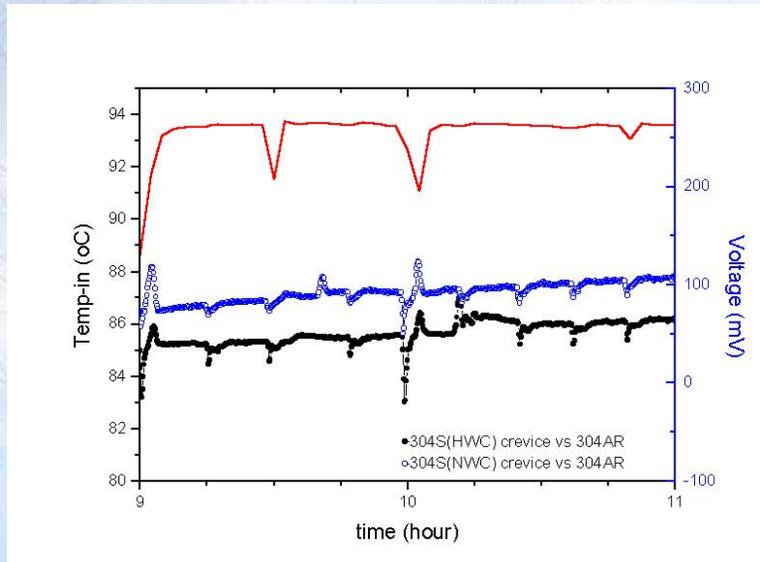


*RRS-A Cycle 2 -- CORD UV*

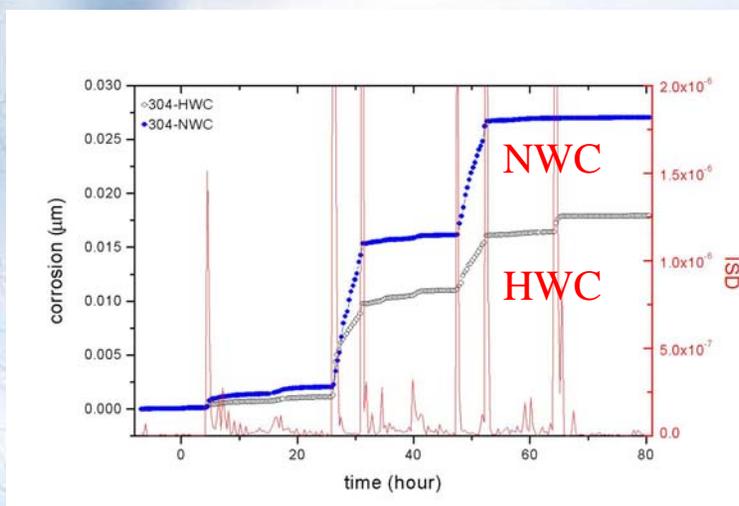


*RRS-A Cycle 3 -- CORD UV*

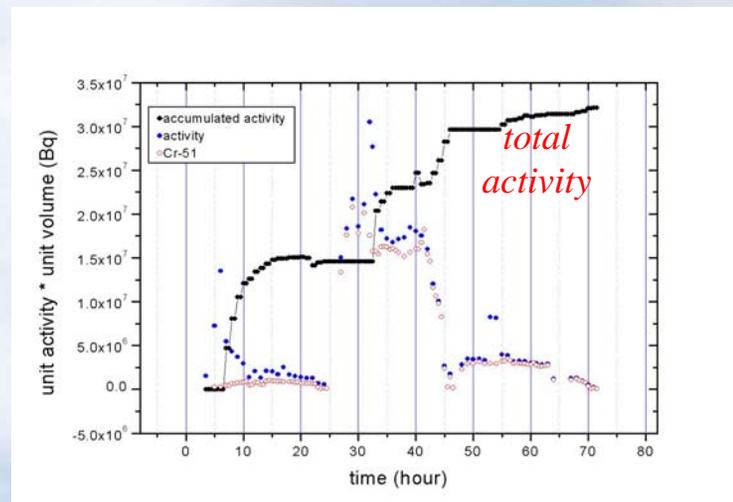
# ECN 敏感度高可監測出CORD UV 化學除污中排水及加藥過程



## 核二廠再循環系統 電化學雜訊(ECN)監測

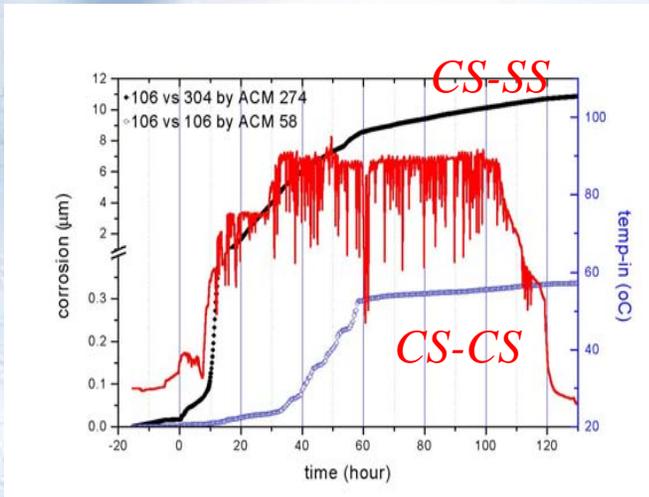


## 核二廠再循環系統 活性變化

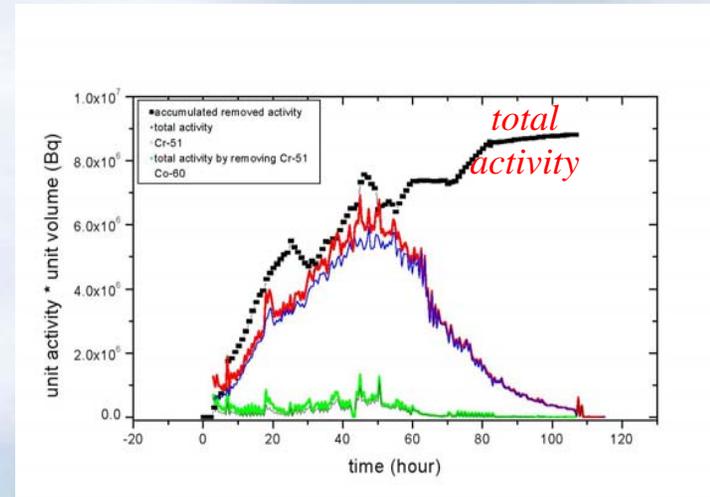


1. 304不銹鋼在NWC環境下其腐蝕速率高於在HWC環境。
2. 腐蝕速率與活性移除顯示出類似的趨勢。

## 核二廠RWCU系統 電化學雜訊(ECN)監測



## 核二廠RWCU系統 活性變化



1. 與不銹鋼相接之碳鋼試片其腐蝕速率高於純碳鋼試片。
2. 腐蝕速率與活性移除顯示出類似的趨勢。

## 彙總—電化學雜訊(ECN)監測

- ❑ 電化學雜訊之電流及電位訊號變化趨勢除可即時監測腐蝕速率外，亦可清楚地來比對在化學除污CORD UV過程。
- ❑ 累積腐蝕量之變化趨勢與活性去除量之變化趨勢一致。
- ❑ 電化學雜訊所獲得的金屬腐蝕量與一般腐蝕試片(coupons)於除污後之重量損失極為吻合，證實為一可靠之監測技術。

# 其他腐蝕監測應用 (線性極化與直流電壓降)

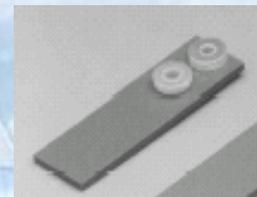
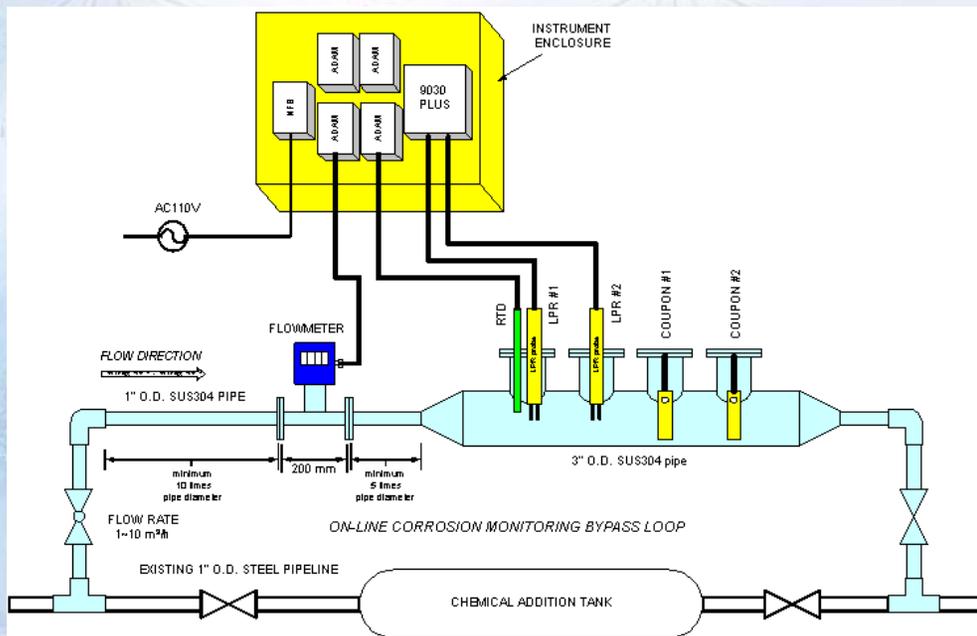
# 密閉冷卻水系統線上腐蝕監測



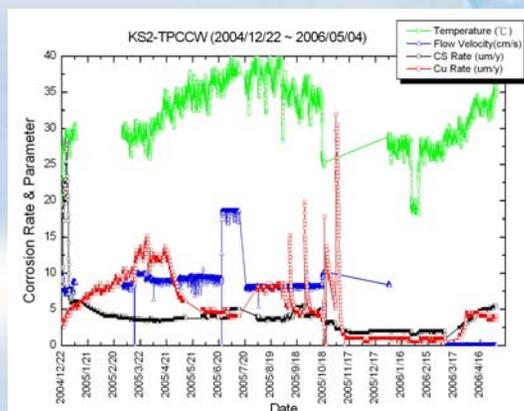
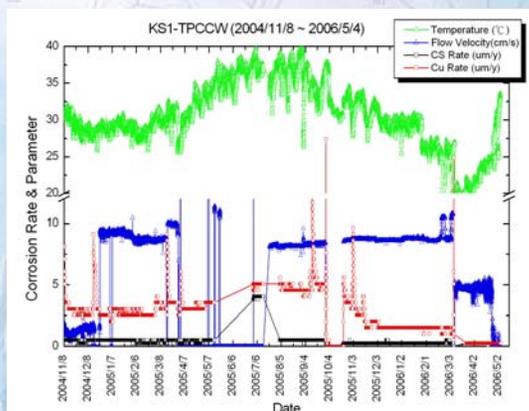
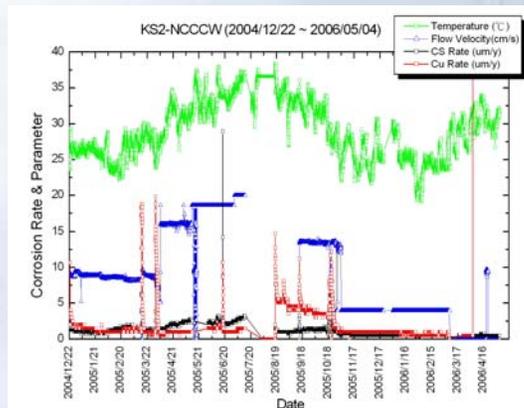
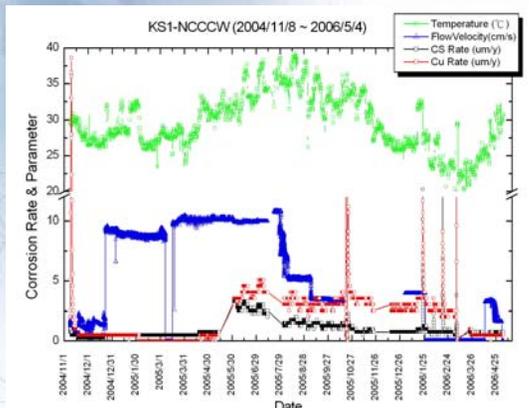
- 於核二廠已分別建置四套線上LPR腐蝕監測設備
- 冷卻水系統採用之腐蝕抑制劑為鉬酸鹽和亞硝酸



ADAM-4018M  
8-channel Analog Input  
Data Logger



# 核二廠中對銅及碳鋼於NCCCW / TPCCW線上腐蝕監測數據

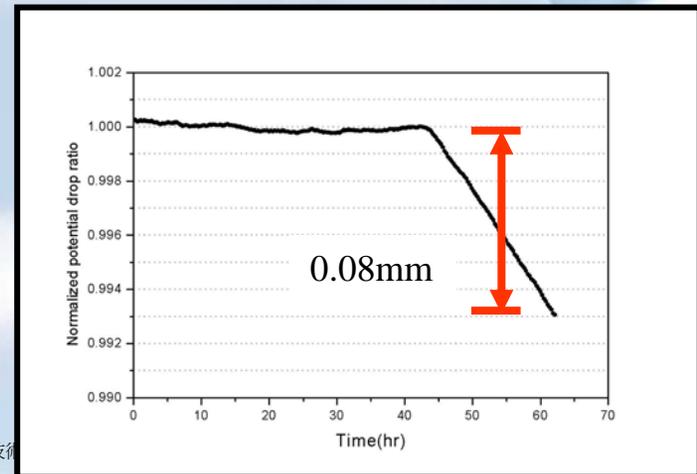
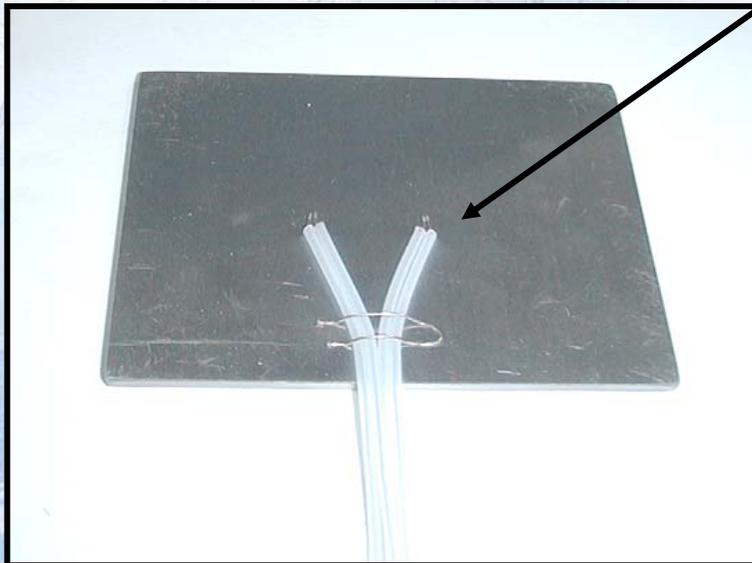
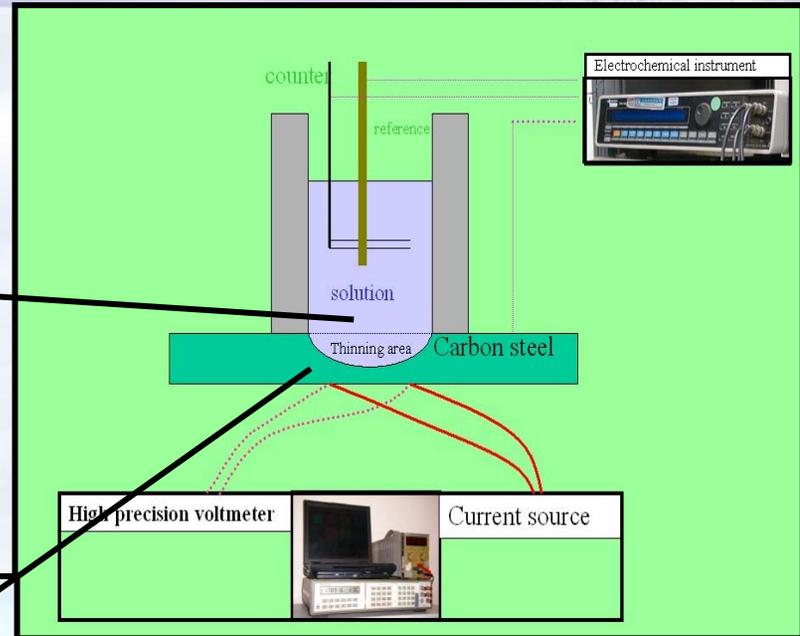
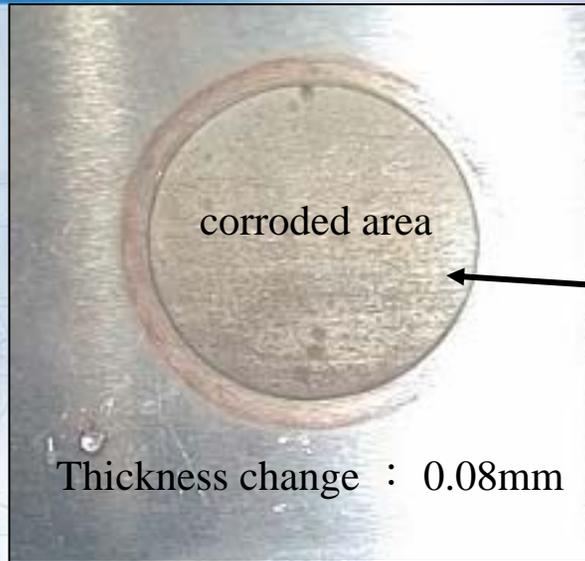


# 加氫設備冷卻水系統之腐蝕監測 (即將進行之研究)



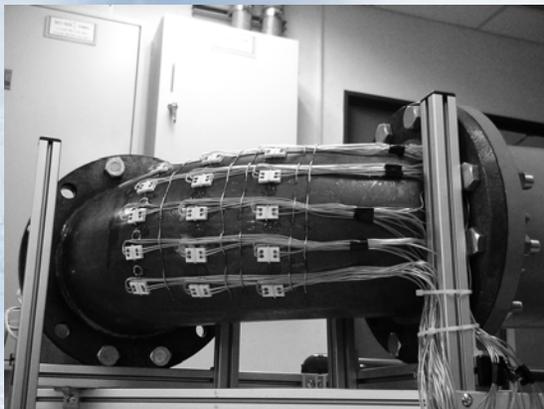
- Severe loss of cooling water and inhibitors
- Chloride & sulfate intrusion
- High possibility of microbial corrosion

# 使用電壓降技術量測管路薄化





# 使用電壓降技術於PWR電廠 碳鋼管路監測管路薄化



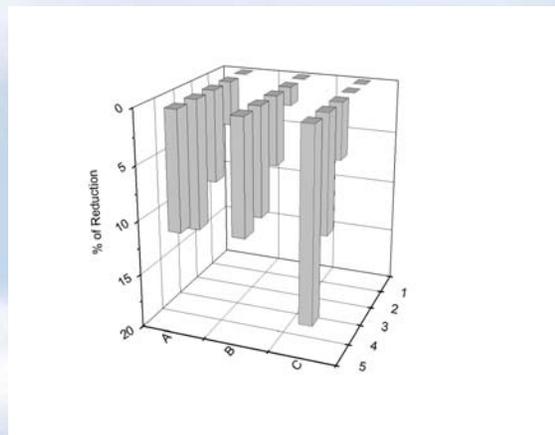
量測點分佈



沖蝕模擬



儀器設備



管路沖蝕分析

# 結 論

- 線上腐蝕監測在台灣已被發展為實用的技術，在核能發電廠中已被廣泛的應用水化學控制、程序改變，乃至於BWR及PWR環境最佳化控制中重要的材料可靠度/安全評估利器。
- 正在發展或規劃中的線上腐蝕監測技術，如SG管線間隙模擬，PWR一次側水ECP監測，及廠用水環路腐蝕監測等在未來皆可能實際應用於電廠。
- 藉由線上腐蝕監測系統之輔助，能降低材料劣化程度，並促進核能電廠運轉中的結構及功能完整性。