



# 熱真空與溫度循環測試

Bing-Han Cai  
July 06, 2017



# 大綱

- 簡介
- 熱真空與溫度循環測試
- 溫度量測的選擇
- 溫度循環測試系統－太空酬載實驗室
- 實際測試



# 簡介

- 模擬衛星或太空元件處於高真空及冷、熱溫差變化大之太空環境中，測試其在該環境下之運作功能與熱控分析之精確性，以確保衛星在外太空極低溫與極高溫環境下能維持正常運作、各項功能是否符合設計要求；並藉以找出其潛在之設計或製造上之工藝缺陷，進而加以改善。



# 溫度循環測試

- **溫度循環測試(Temperature Cycle Testing, 簡稱TCT)**, 測試待測物對高溫和低溫的抵抗能力, 及待測物對溫變率的抵抗能力
- 由熱機械循環造成的機械故障被稱為**疲勞失效**。所以, 溫度循環測試會加速儀器的疲勞失效。



- 溫度循環測試開始前會先檢查儀器是否有毀損, 確定無毀損後便開始測試
- 過程是控制溫度, 使待測物承受從高溫到低溫再從低溫到高溫的循環。放置待測物的環境稱作**溫度循環艙**。
- 在溫循過程中, 會做功能測試, 測驗在極溫下儀器是否有功能不正常的情況。
- 在最後一個循環後, 會檢查儀器的外殼、針腳和封膠, 如有損壞的部分即此次的測試失敗。



- 在業界，較種常用的規範
  - **Mil-Std-833 Method 1010**



# MIL-STD-833 method 1010

- 開始升降溫時間:  $\leq 1$  minute
- 持續在極溫時間:  $\geq 10$  minutes
- 到達目標溫度所需時間:  $\leq 15$  minutes
- 最少要做10個循環



# 熱衝擊測試

- **熱衝擊測試(Thermal Shock Test ,簡稱TST)**其目的是要測試待測物對溫度突然的驟降或劇增的抵抗力
- 在TCT時，在其中幾個循環下，從常溫突然增到極高溫或降到極低溫
- 在溫循過程中，會做功能測試，測驗在極溫下儀器是否有功能不正常的情況
- 在最後一個循環後，會檢查儀器的外殼、針腳和封膠，如有損壞的部分即此次的溫循失敗





- 在溫循過程中，會做功能測試，測驗在極溫下儀器是否有功能不正常的情況
- 在最後一個循環後，會檢查儀器的外殼、針腳和封膠，如有損壞的部分即此次的測試失敗



- 在業界最常用的規範
  - **Mil-Std-833 Method 1011**



# MIL-STD-833 method 1011

- 開始升降溫時間: < 10 seconds.
- 持續在極溫時間: > 2 minutes.
- 到達目標溫度所需時間: < 5 minutes.



# 溫度量測選擇

- RTD(Resistance temperature detector)
  - 以純金屬電子電阻的變化原則進行操作(白金)
- 熱敏電阻
  - 電阻值隨溫度改變(半導體材質)
- 熱電偶(thermocouple)
  - 兩相異金屬材質





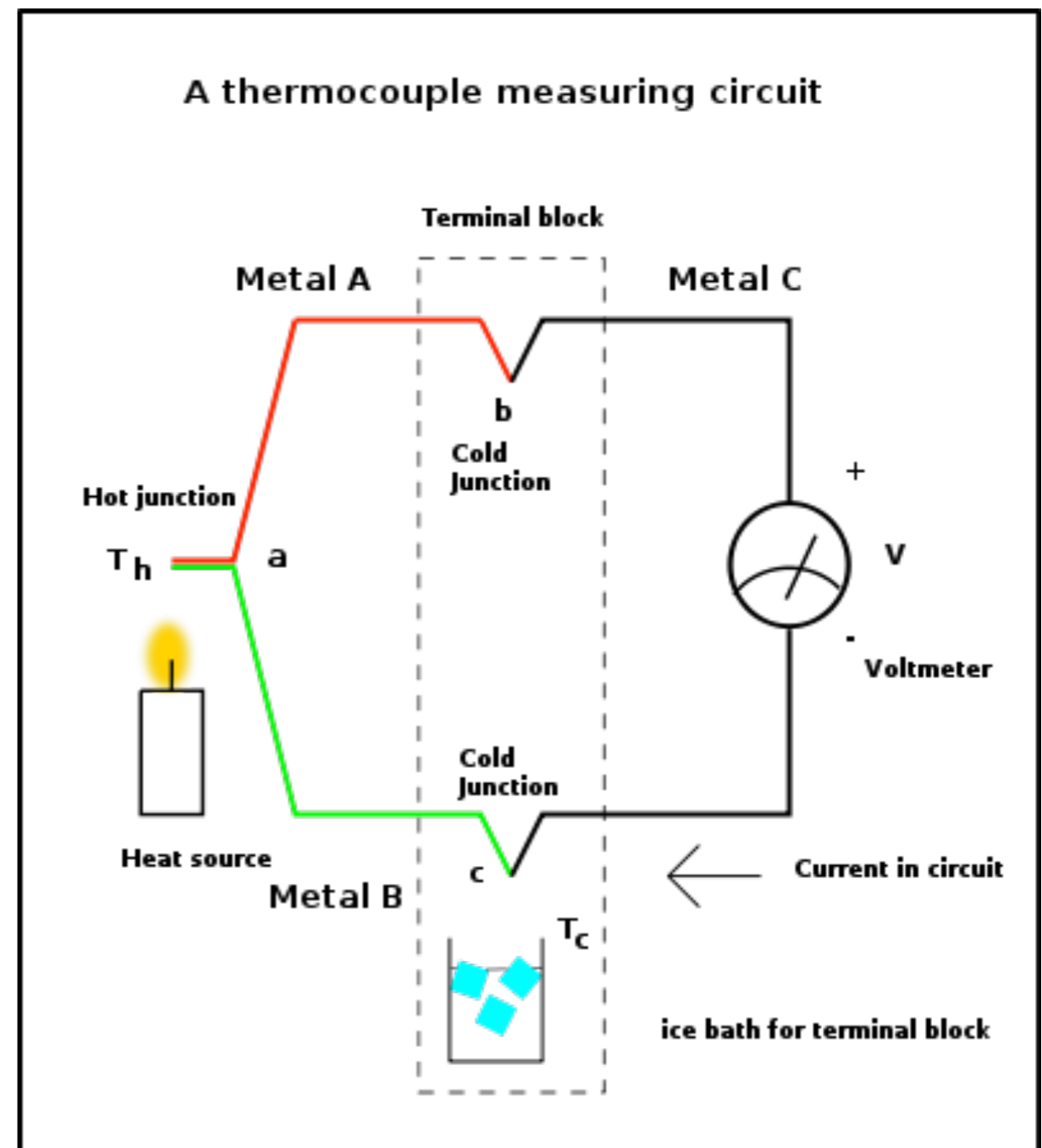
# 熱電偶(thermocouple)

- 較低價格的精確感測器
- 較大範圍的工作溫度
- 不必附加其它電源來驅動感測器
- 可藉由電路的設計來獲得極佳之精確度



# 熱電偶(thermocouple)

- 由於金屬的兩端溫度不同時會產生等比例電壓(熱電勢)，並將兩相異金屬相接於一端，利用此特性來量測一很小的電壓差值來作溫度增減的依據。





# 熱電偶(thermocouple)

Type	溫度範圍 (°C)	優點	缺點	材質		
				+	-	
高溫用	K	-200~1200	廣泛用於工業中抗酸性佳	不適用於CO及亞硫酸瓦斯中,在高溫還原性空氣中會劣化	鉻,鎳	鋁,錳,矽等鎳合金
中溫用	E	-200~800	具有最大之熱電動勢	不可耐於還原性空氣中,電器電阻大	鉻,鎳	鎳,銅
	J	-200~350	可耐於還原性空氣中使用	容易生鏽	鐵	鎳,銅
低溫用	T	-200~350	在弱酸性及還原性空氣中很安定	300 °C以上銅會氧化	銅	鎳,銅
超高溫用	B	500~1700	能耐於酸性空氣中	不可耐於還原性空氣中使用	銻,白金	銻,白金
	R	0~1600			銻,白金	白金
	S	0~1600			銻,白金	白金



# 溫度循環測試系統

## -太空酬載實驗室

- 溫度循環
- 熱真空
- 熱電偶







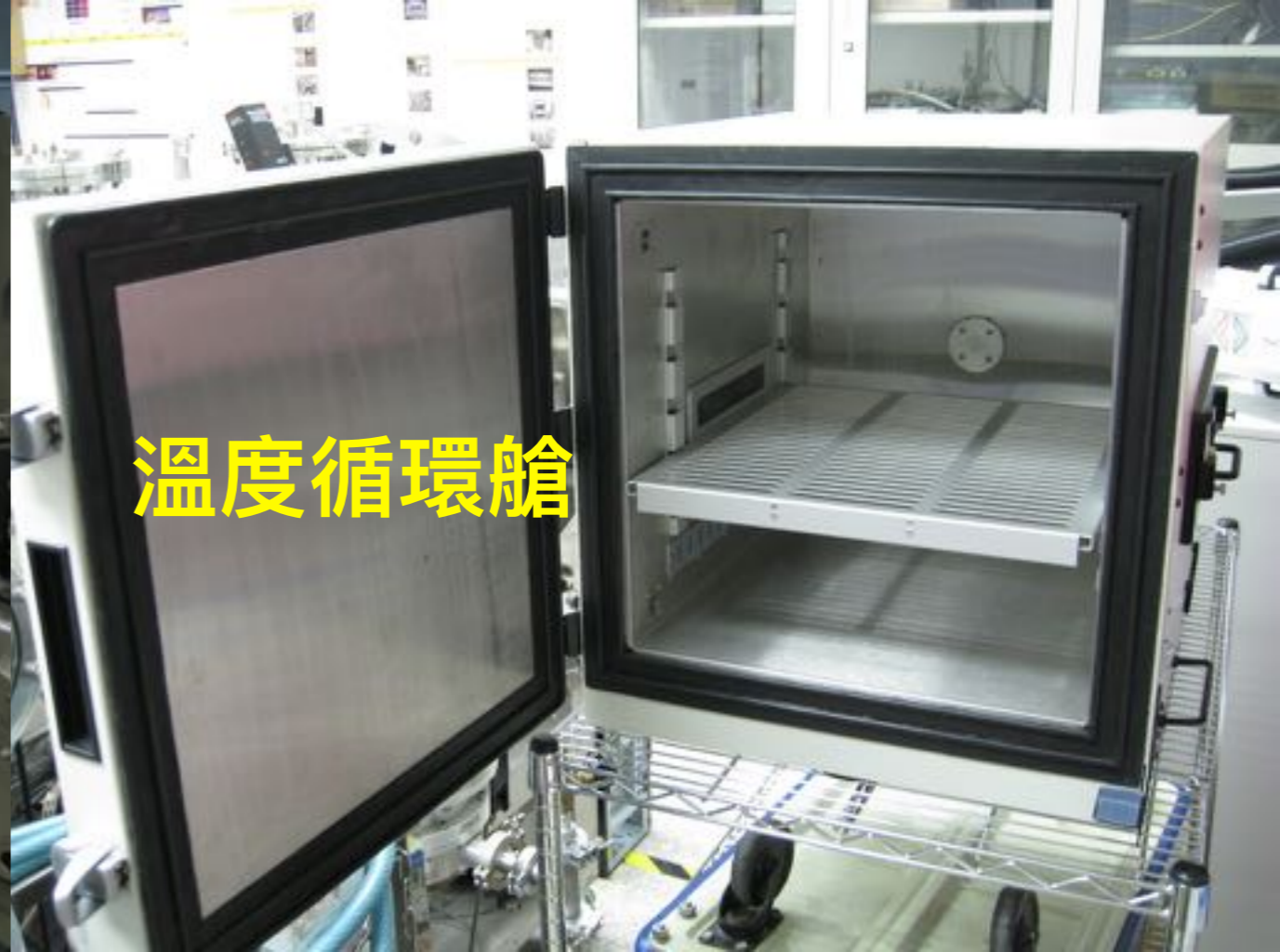
# 溫度循環艙

- 溫度範圍：-80°C ~ +200°C
- 溫度變化速率：-55°C ~ +125°C：<10秒，  
+125°C ~ -55°C：<20秒
- 溫度準確率：1°C以內
- 控制界面：IEEE-488，RS232C Serial，Ethernet與面板控制
- 資料儲存：可存放在內存硬碟內
- 可提供人為控制與溫度循環控制
- 可與溫度循環艙直接相連接

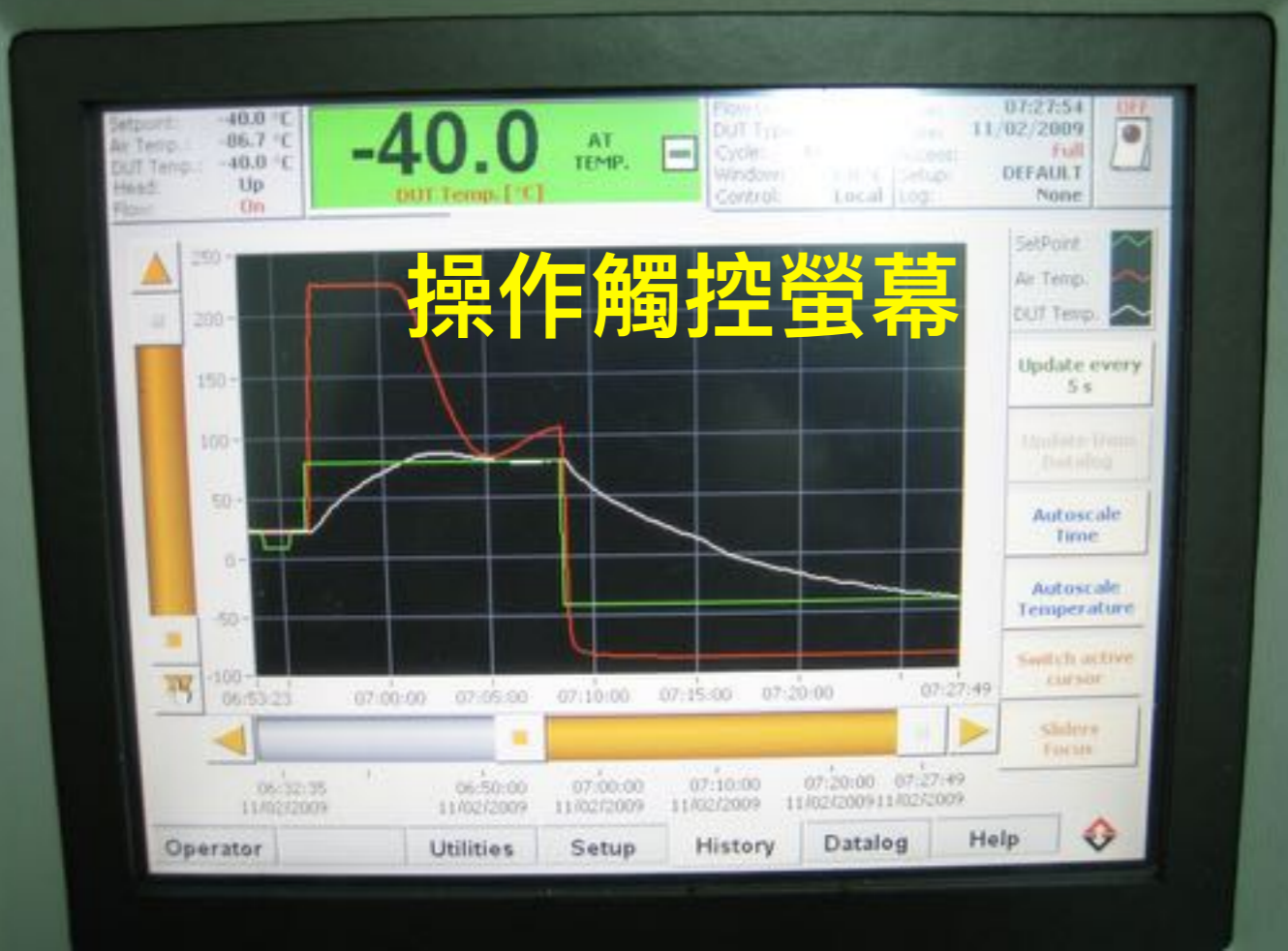
溫度循環機



溫度循環艙



操作觸控螢幕



儲氣槽



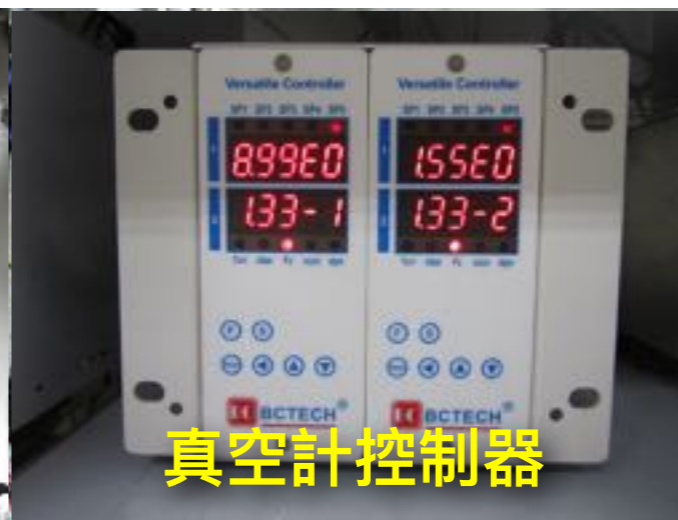
空氣除水機

空氣壓縮機



# 熱真空艙

- 功能：測試太空酬載在真空與熱的複合環境之能力
- 壓力： $<3 \times 10^{-4}$  Pa
- 溫度範圍： $-40 \sim +80^{\circ}\text{C}$
- 循環板溫度均勻度： $\pm 3^{\circ}\text{C}$



# 真空等級

	Pressure
粗真空	1 atm ~ 10 Pa
中真空	$10^{-1} \sim 10^{-3}$ Pa
高真空	$10^{-6} \sim 10^{-3}$ Pa
極高真空	$< 10^{-6}$ Pa

# Oil-seal rotary vane pump

- 體積: 516mm D x 170mm W x 240mm H
- 抽氣速度: 240 L/min for 60Hz
- 極限壓力:  $6.7 \times 10^{-2}$  Pa

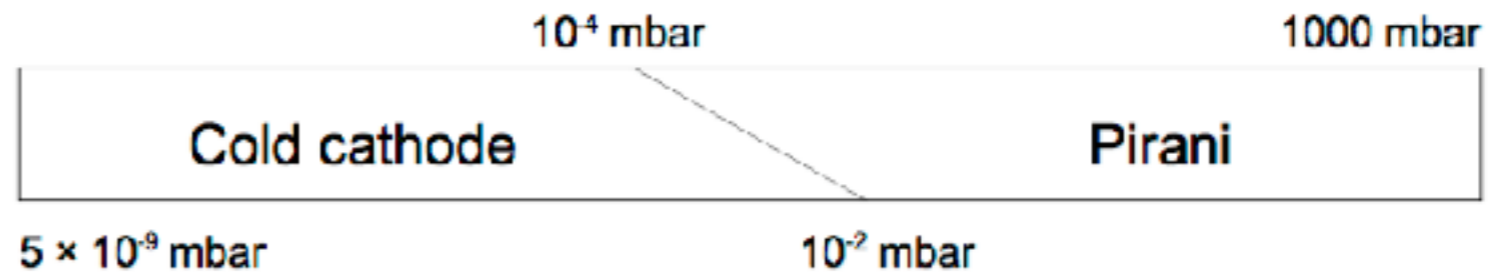


# Compound molecular pump

- 體積: 235.5mm D x 262.5mm W x 312.5mm H
- 抽氣速率: 750 L/s for N<sub>2</sub>
- 極限壓力:  $< 1 \times 10^{-6}$  Pa
- 最高轉速 33,600 rpm
- Bearing life: 200,000 hr (now about 7,200)
- 最大工作壓力: 330 Pa





# Full range gauge



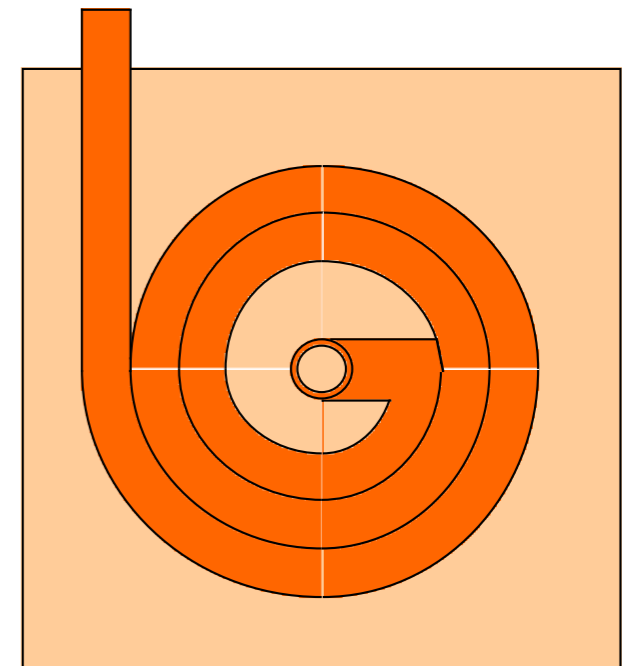
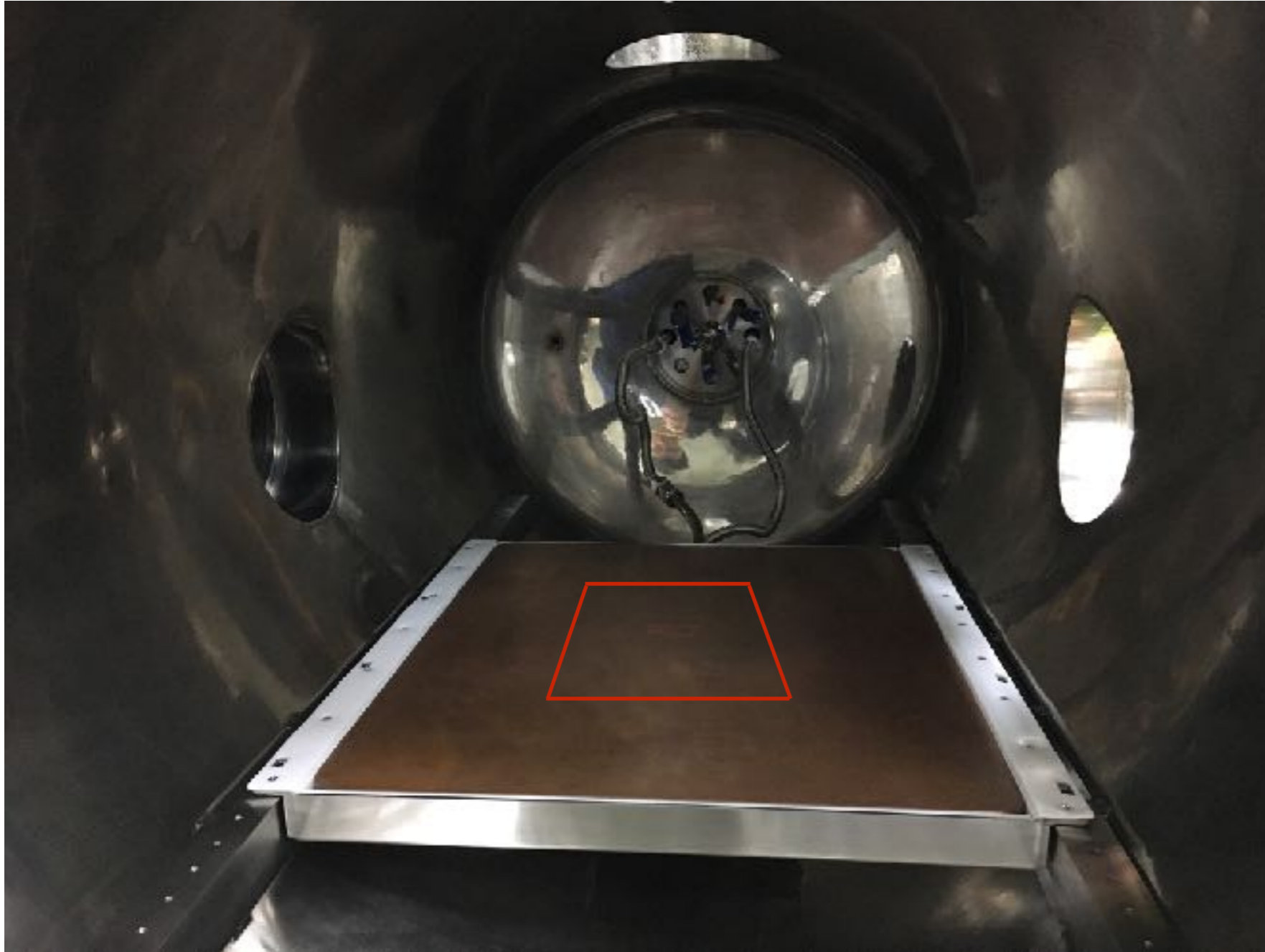
- The Pirani measurement circuit is always on.
- The cold cathode measurement circuit is controlled by the Pirani circuit and is activated only at pressures  $< 1 \times 10^{-2}$  mbar.

The identification output (pin 1) indicates the current status of the gauge:

Pressure	Green lamp on the gauge	Operating mode	Identification
$p > 1 \times 10^{-2}$ mbar		Pirani-only mode	11.1 k $\Omega$ (Pirani)
$p < 1 \times 10^{-2}$ mbar		Pirani-only mode (cold cathode measurement circuit not ignited)	11.1 k $\Omega$ (Pirani)
		Combined operation	9.1 k $\Omega$ (combined)



# Thermal plate



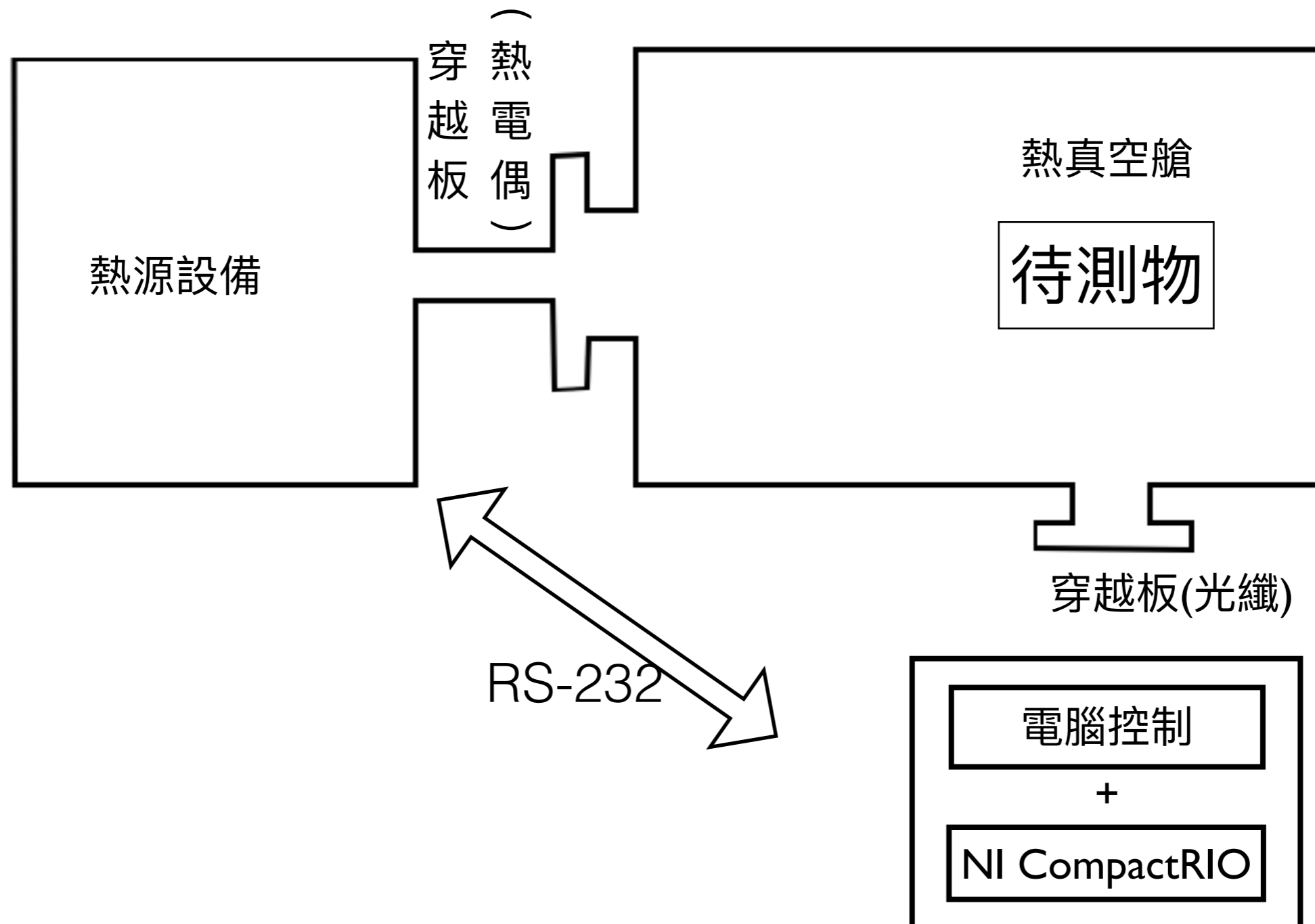


# 熱源: Julabo FP90-SL

- 體積: 59cm D x 76cm W x 116cm H
- 溫度範圍: -90~100°C
- 誤差:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$



# 熱真空測試系統-太空酬載實驗室

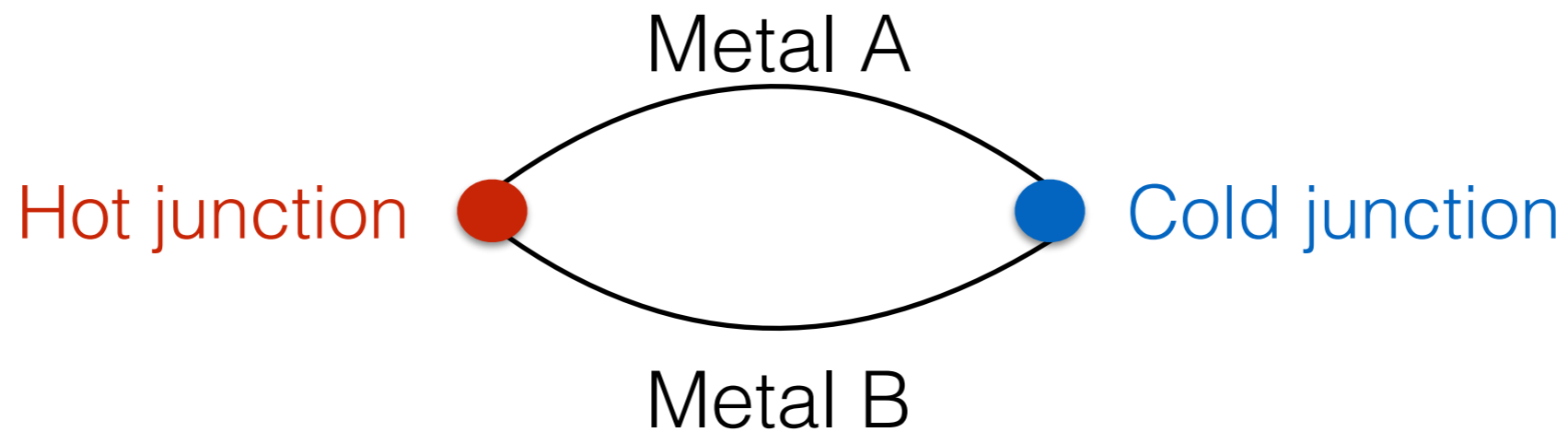


# 熱電偶

- 賽貝克效應(Seebeck effect)
- 冷點補償(Cold junction compensation)
- NI CompactRIO

# Seebeck effect

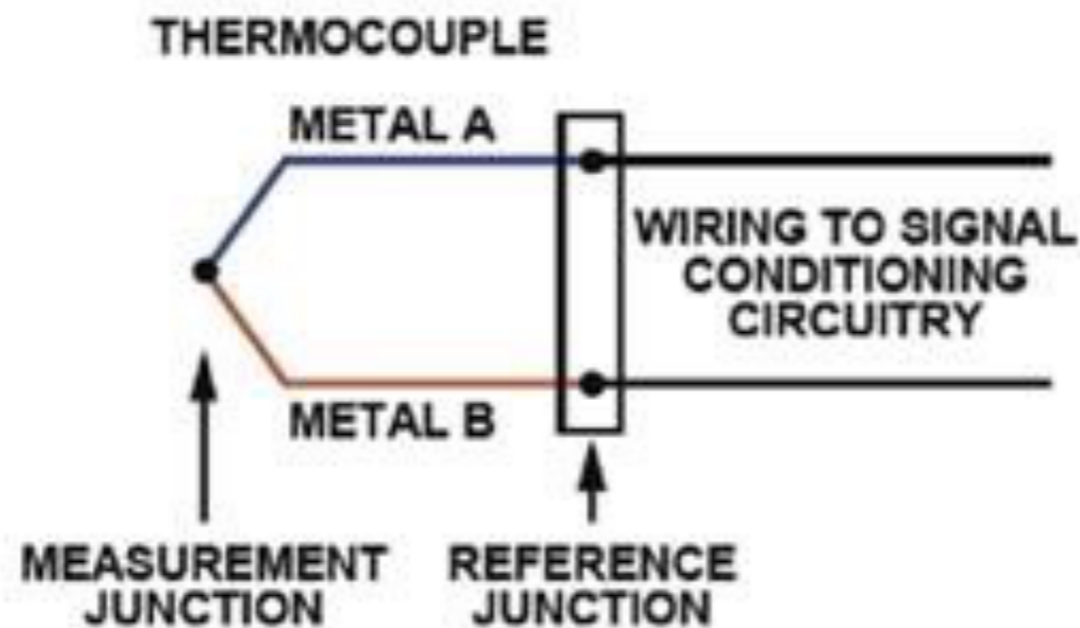
- 兩種不同金屬構成的迴路，如果兩種金屬的結點處溫度不同，該迴路中會產生一個溫差電動勢



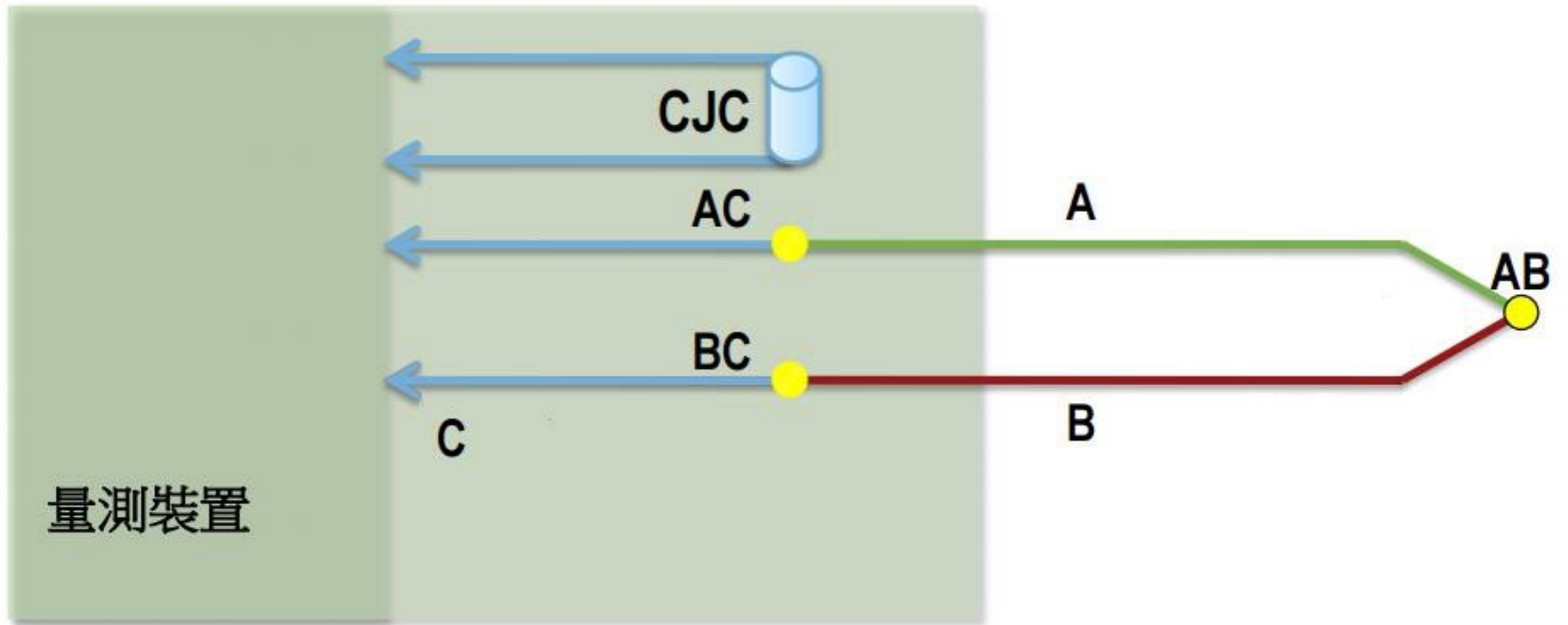
$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

# Cold junction compensation

- 因為冷點通常是常溫而不是冰點，所以測量到的電壓會是目標物與常溫的溫差所造成的電壓。



# Cold junction compensation



$$V=AB+AC+BC$$

# NI CompactRIO





# NI CompactRIO



- 堅固的嵌入式控制與資料擷取系統
- 透過NI LabVIEW圖形化程式設計工具即可設定並運用
- 可搭配各式模組使用



**NI 9214**  
高精度溫度量測模組



**NI 9375**  
數位I/O模組



**NI 9870**  
RS232序列界面模組



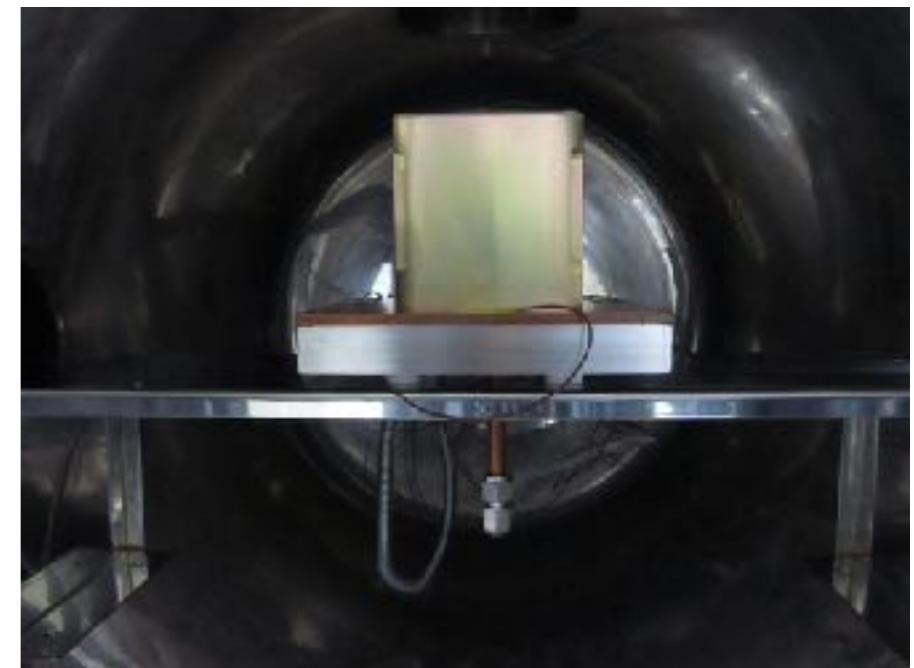
**NI 9871**  
RS422/485序列界面模組

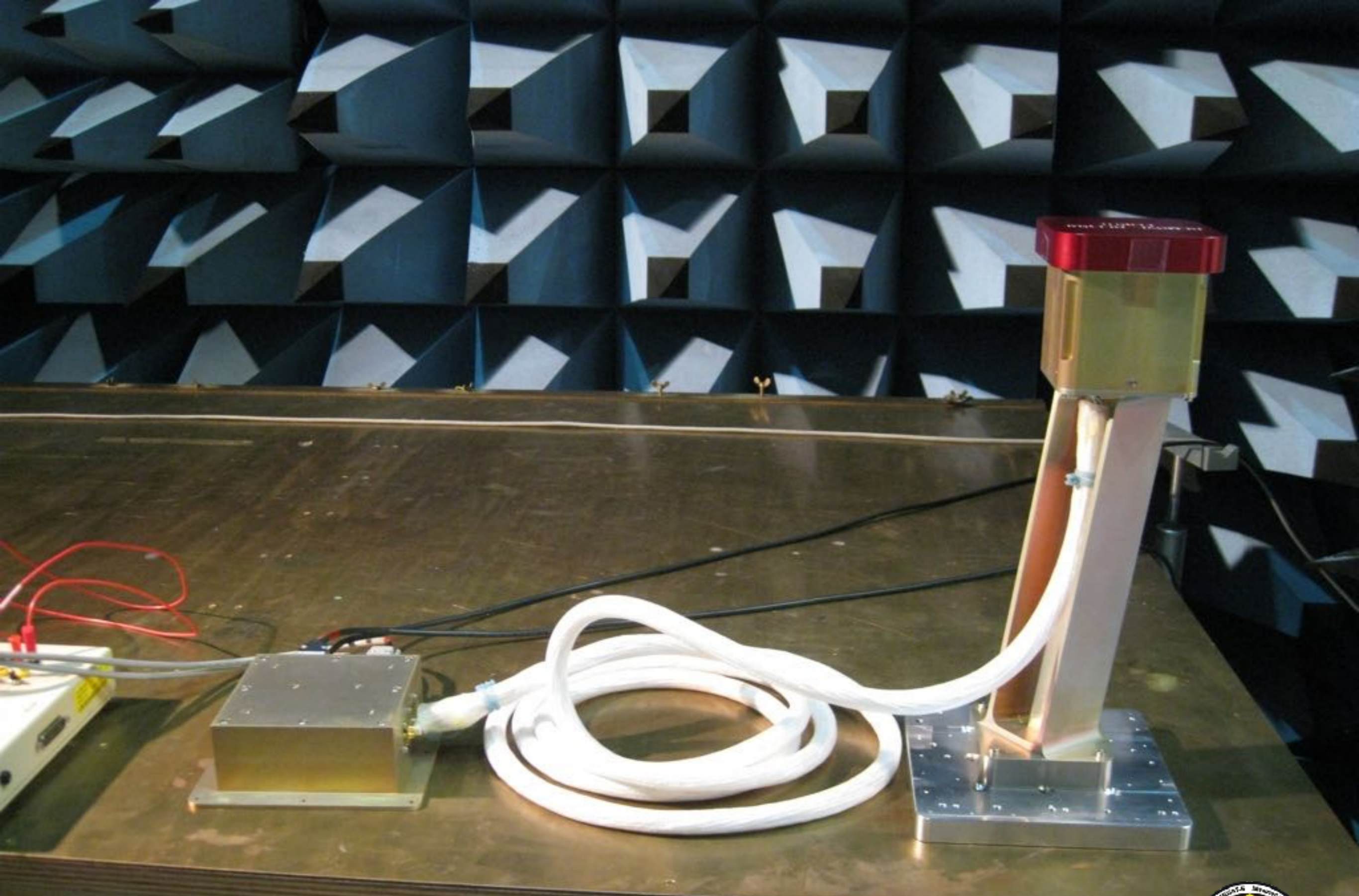




# 福衛五號-先進電離層探測儀

- 測試需求
  - 溫度範圍：  $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$
  - 功測範圍：  $-20^{\circ}\text{C}\sim50^{\circ}\text{C}$
  - 溫度變化速率：  $\geq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$
  - 保溫時間： 2hr
  - 循環數： 8
  - 壓力：  $\leq 5.0\times 10^{-3}\text{ pa}$





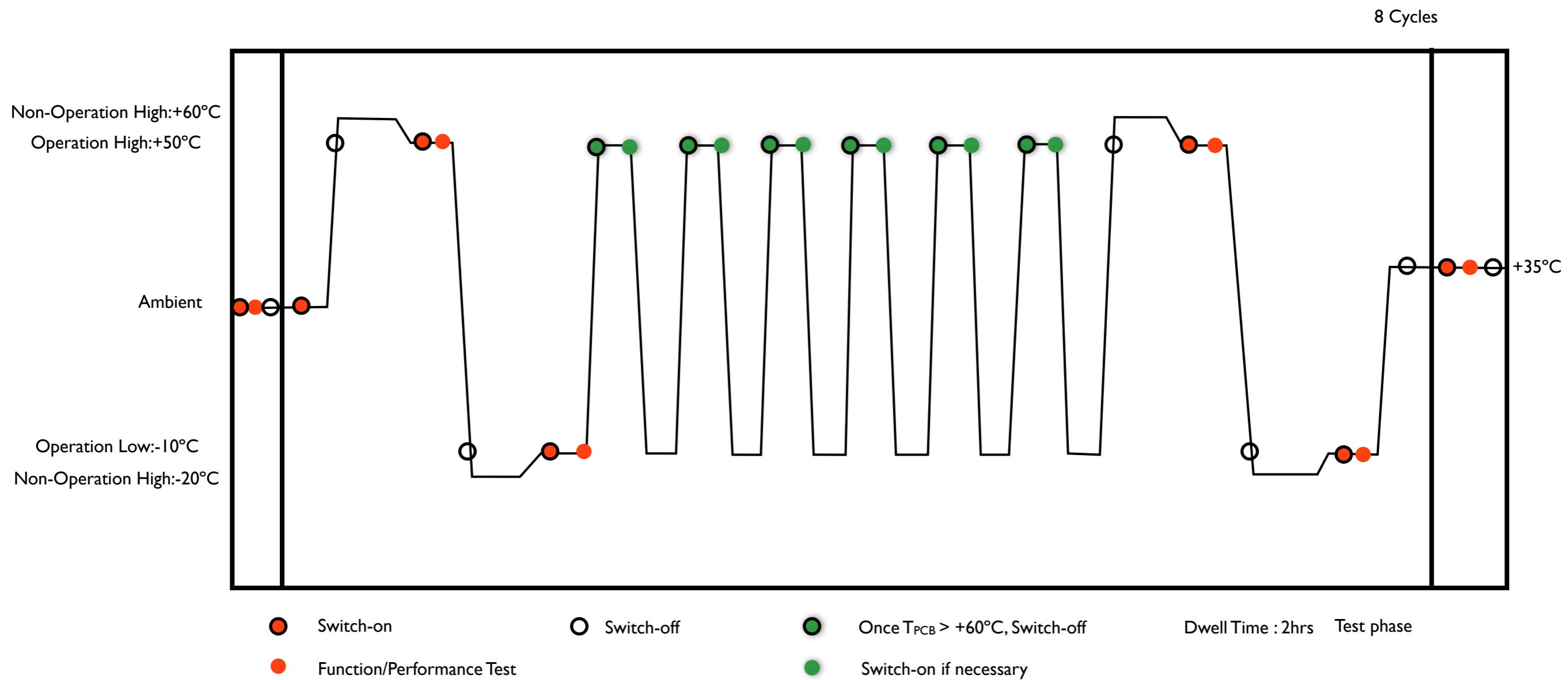
福爾摩沙衛星五號-先進電離層探測儀





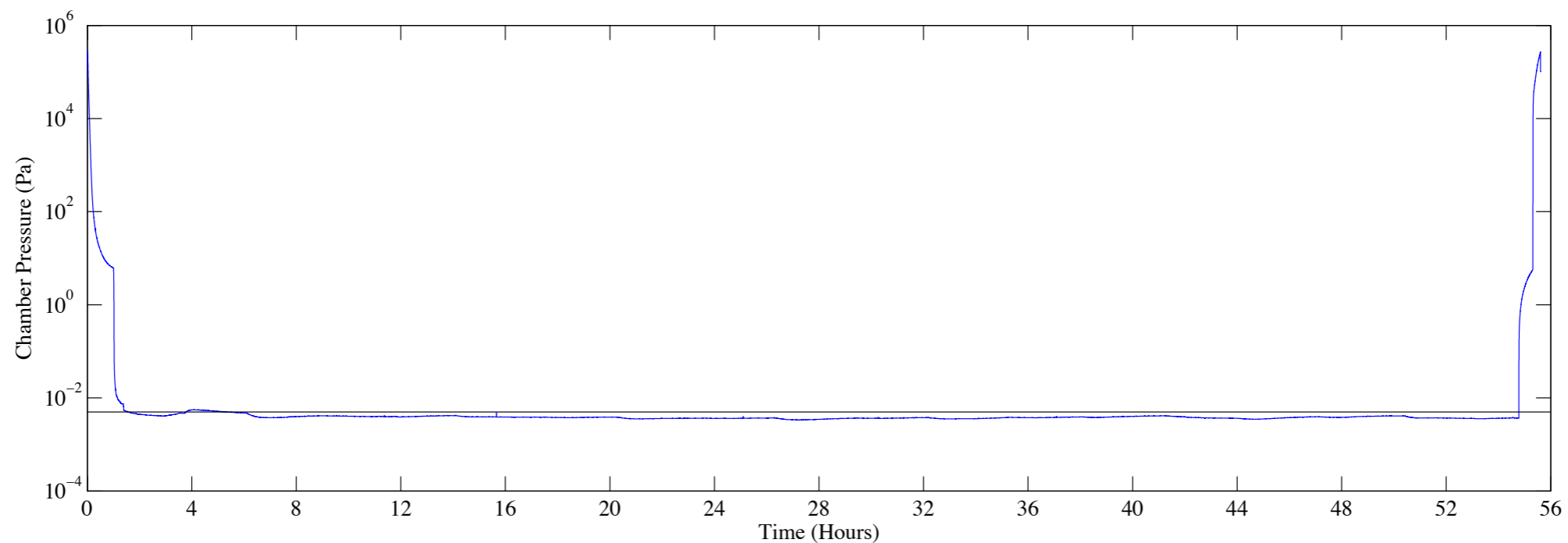


# 測試程序圖-AIP

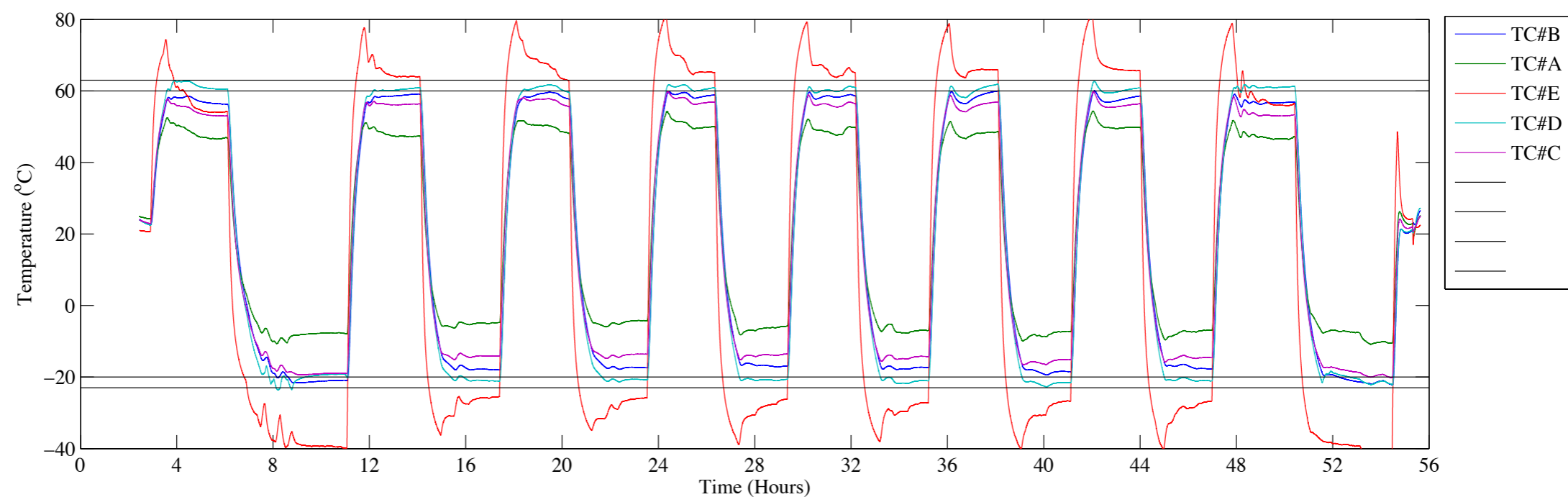




艙內壓力穩定保持在  $5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$  以下



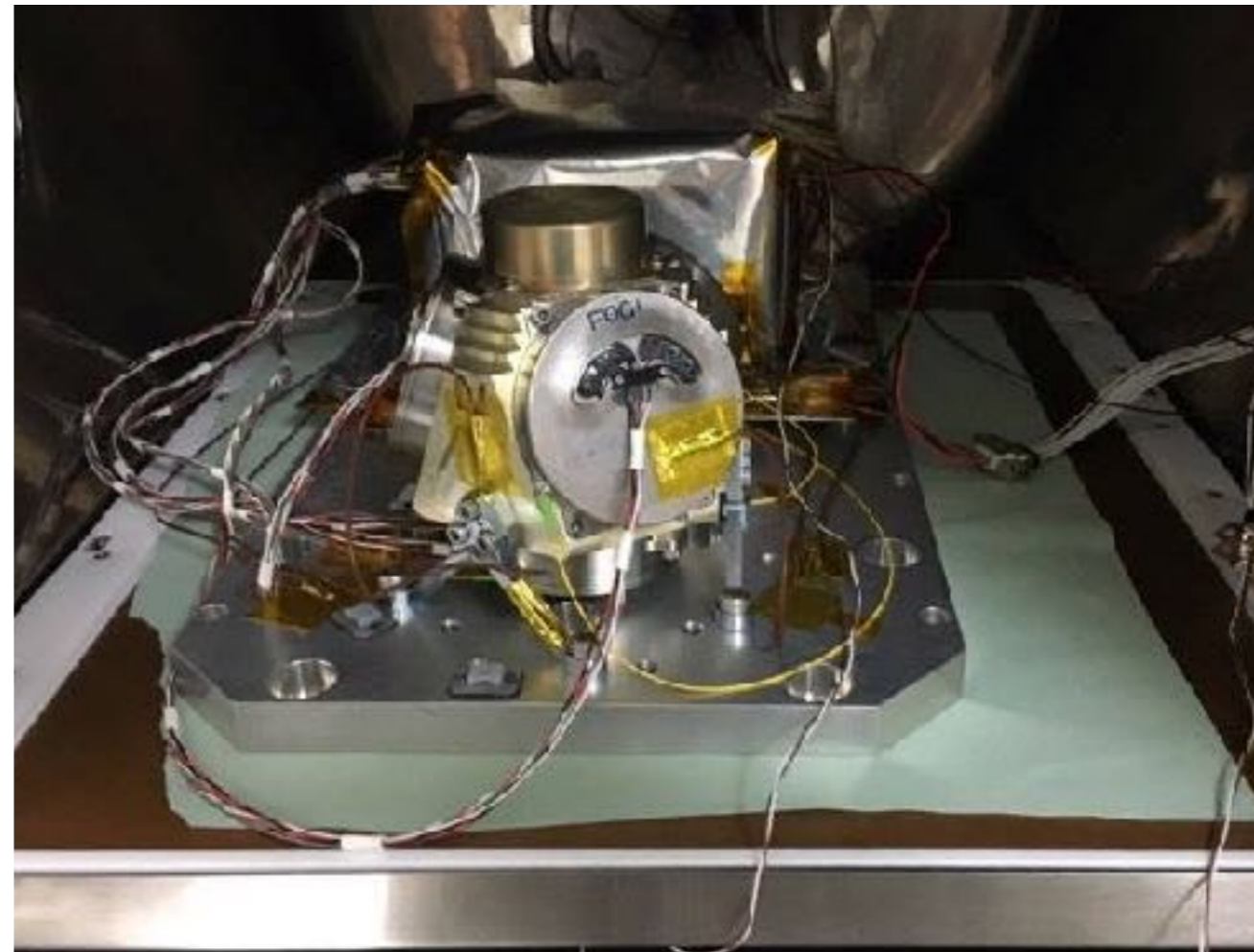
連續八個循環溫度記錄





# 光纖陀螺儀(FOG)

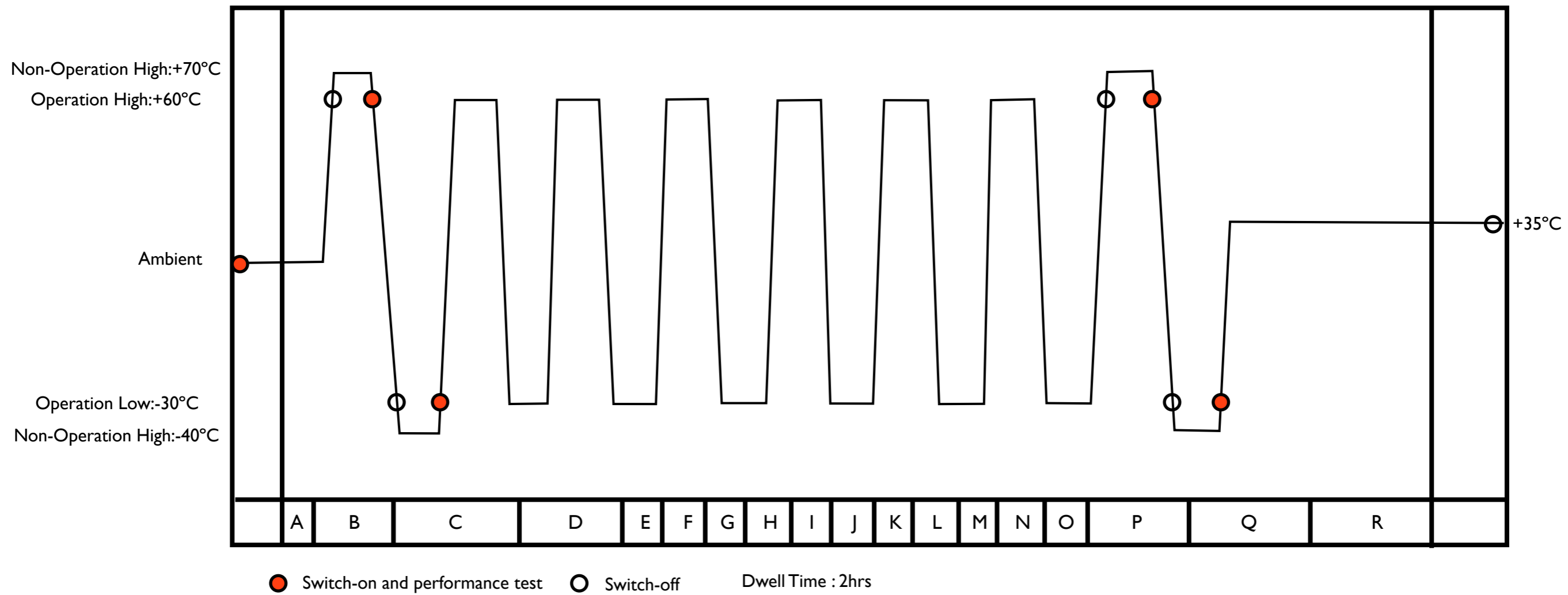
- 測試需求
  - 溫度範圍：  $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$
  - 功測範圍：  $-30^{\circ}\text{C}\sim60^{\circ}\text{C}$
  - 保溫時間： 2hr
  - 循環數： 8
  - 壓力：  $\leq 5.0\times 10^{-3}$  pa

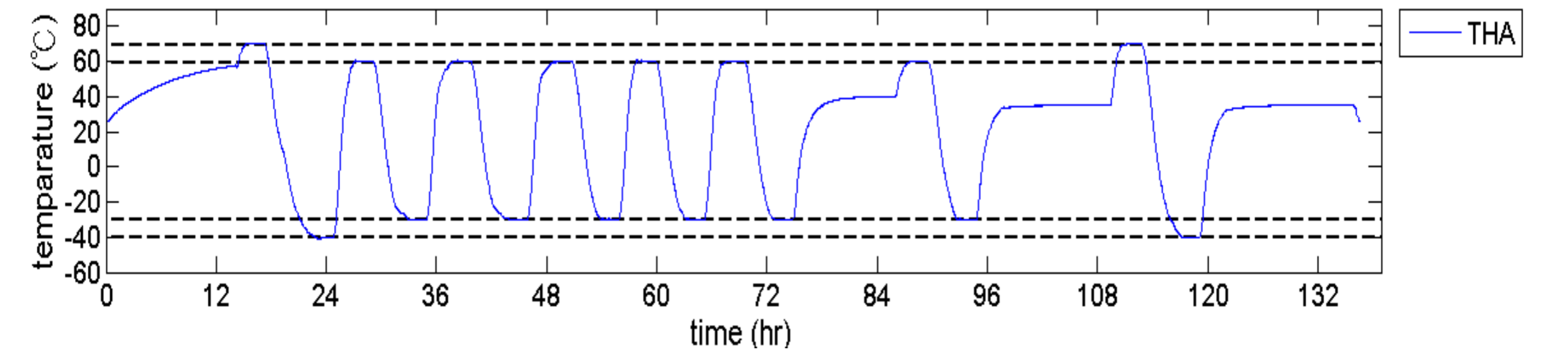
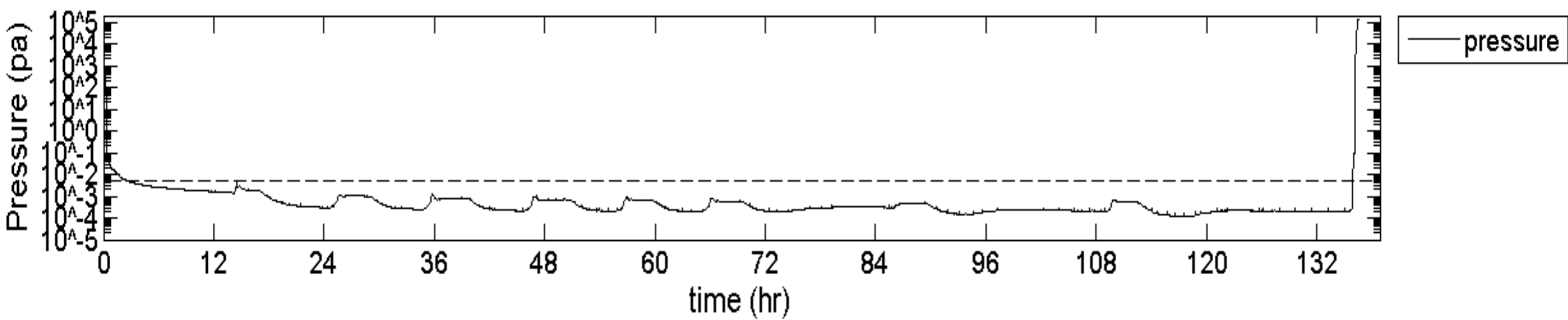




# 測試程序圖-FOG

8 Cycles







# Q&A