



溫循與熱真空測試

Yi-Wun Chen
July 7, 2018



大綱

- 溫度循環與熱真空
- 溫度循環系統的選擇
- 溫度量測的選擇
- 溫度循環測試系統－國家太空中心
- 溫度循環測試系統－太空酬載實驗室
- 實際測試



測試目的

模擬衛星或太空元件處於高真空級冷、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冷與極熱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(Workmanship)缺陷，進而加以改善。〔NSPO, 2011〕



熱真空測試

- 熱真空測試為一複合環境測試，同時包含溫度循環測試與真空測試。
- 當待測物暴露在極高溫 and 極低溫的環境下，驗證待測物的所有部件在經過循環的極溫測試後的功能性，而週期性的熱負載是造成機械疲勞失效與電子元件故障的原因之一，因此溫度循環測試會加速缺點的暴露。
- 當待測物處於真空環境時，有些儀器會需要高電壓裝置才能運作，就有可能產生放電現象，進一步造成儀器損傷。



溫度循環測試

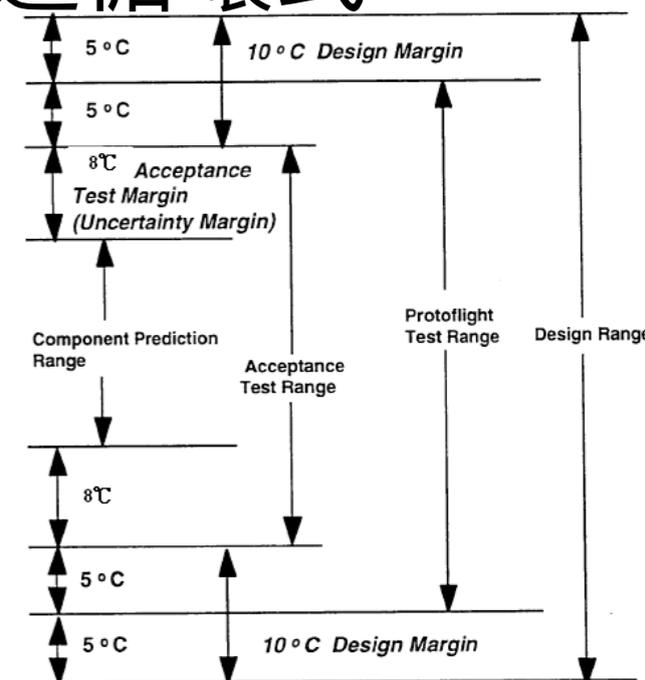
- 溫度循環測試(Temperature Cycle Testing, TCT , or Temperature Cycling or Temp Cycling) ，用意在於檢驗待測物對於高低溫的耐受程度及其暴露在交替的極端溫度中所受到的影響為何。
- 循環*熱機械加載所造成的機械故障稱作**疲勞失效**，而TCT主要加速疲勞失效，而與TCT相似的溫度衝擊測試(Thermal Shock Testing)亦能加速疲勞失效
- 測試環節主要分作四個部分
 - ① 溫循程序
 - ② 測試時間設定
 - ③ 測試後檢驗注意事項
 - ④ 測試不通過之標準

*熱機械(Thermomechanical) ，為材料的機械性在溫度下變化。



溫度循環測試

- 週期性的熱負載是造成機械因疲勞失效而故障的原因之一。
- 溫度循環測試主要是將待測物暴露在極高溫以及極低溫的環境下，驗證待測物所有部件在經過循環式的極溫測試後之功能性。
- 測試完成後的電氣訊號測試是必須的。





溫度循環測試

- 在測試中加速失效的原因主要有：

- 極高溫以及極低溫之間的溫差

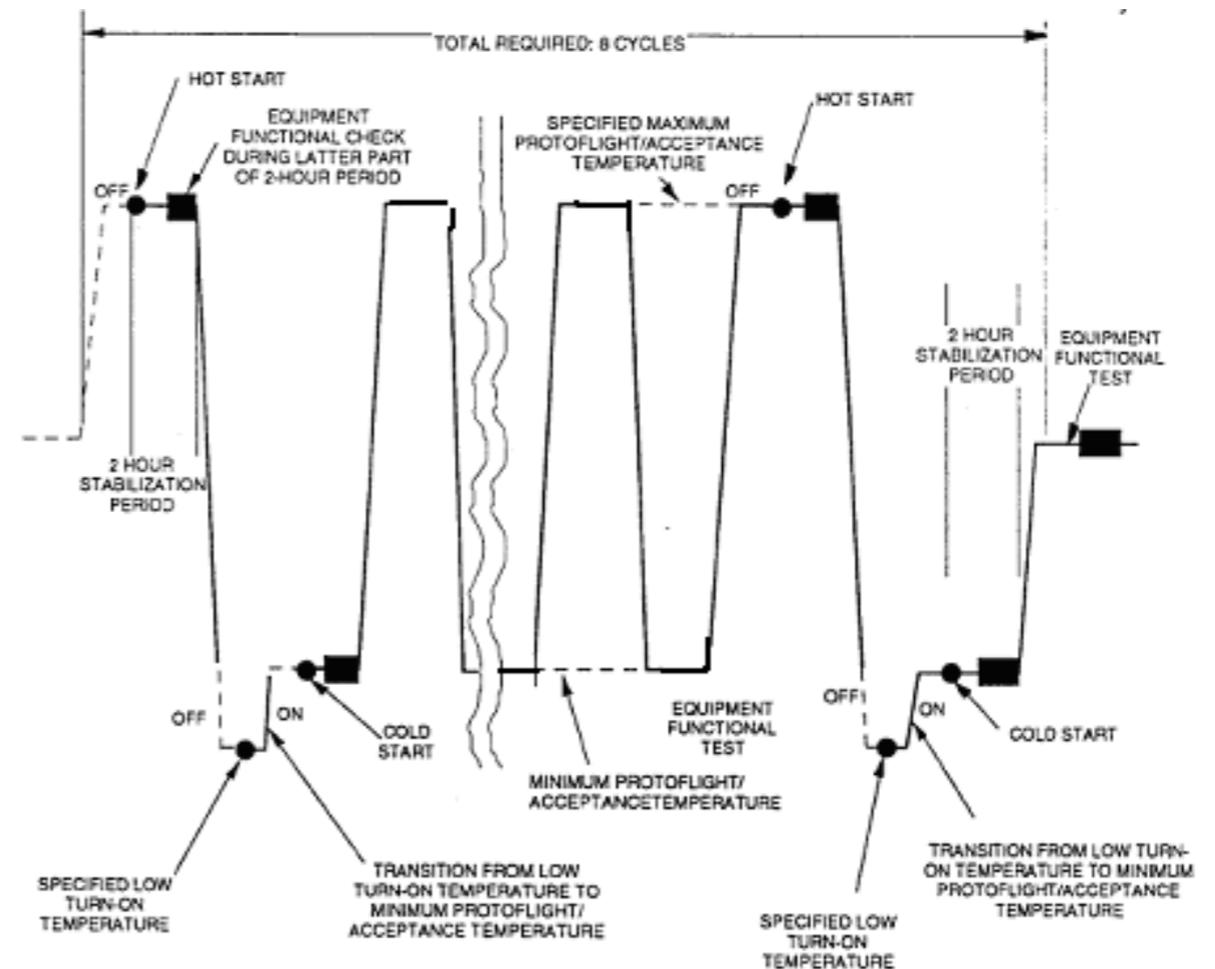
- 在進行溫度轉換時

- 在極溫的保溫持續時間

- 目前主要之測試規範：

- Mil-Std-883 Method 1010

- JEDEC JESD22-A104





MIL-STD-883C method 1010 temperature cycle test

- Total transfer time: ≤ 1 minute.
- Total dwell time: ≥ 10 minutes.
- Specified temp reached in: ≤ 15 minutes.
- Must be conducted for a minimum of 10 cycles.



MIL-STD-883C method 1010 temp cycle test conditions

Condition	Low Temp	High Temp
A	-55 (+0/-10) °C	85 (+10,-0) °C
B	-55 (+0/-10) °C	125 (+15,-0) °C
C	-65 (+0/-10) °C	150 (+15,-0) °C
D	-65 (+0/-10) °C	200 (+15,-0) °C
E	-65 (+0/-10) °C	300 (+15,-0) °C
F	-65 (+0/-10) °C	175 (+15,-0) °C



JEDEC JESD22-A104 spec temperature cycle test

- Total transfer time: ≤ 1 minute.
- Total dwell time: ≥ 10 minutes.
- Specified temp reached in: ≤ 15 minutes.
- Recommended for lot acceptance screen: 10 cycles.
- Recommended for qualification: 1000 cycles.



JESD22-A104 specs

temp cycle test conditions

Condition	Low Temp	High Temp
A	-55 (+0/-10) °C	85 (+10,-0) °C
B	-55 (+0/-10) °C	125 (+10,-0) °C
C	-65 (+0/-10) °C	150 (+10,-0) °C
D	-65 (+0/-10) °C	200 (+10,-0) °C
F	-65 (+0/-10) °C	175 (+10,-0) °C
G	-40 (+0/-10) °C	125 (+10,-0) °C
H	-55 (+0/-10) °C	150 (+10,-0) °C



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。
- 受測物從環境溫度開始，然後將零件暴露在極低（或高）溫度下，並在短時間內暴露於極高（或低）溫度下，經歷規定的循環次數，然後再回到環境溫度。
- 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



MIL-STD-883C method 1011 thermal shock test

- Total transfer time: < 10 seconds.
- Total dwell time: > 2 minutes.
- Specified temp reached in: < 5 minutes.
- Must be conducted for a minimum of 15 cycles.



MIL-STD-883C method 1011 thermal shock test conditions

Condition	Low Temp	High Temp
A	-0 (+2/-10) °C	100 (+10,-2) °C
B	-55 (+0/-10) °C	125 (+10,-0) °C
C	-65 (+0/-10) °C	150 (+10,-0) °C



JEDEC JESD22-A106 spec thermal shock test

- Total transfer time: < 10 seconds.
- Total dwell time: > 2 minutes.
- Specified temp reached in: < 5 minutes.
- Must be conducted for a minimum of 15 cycles.

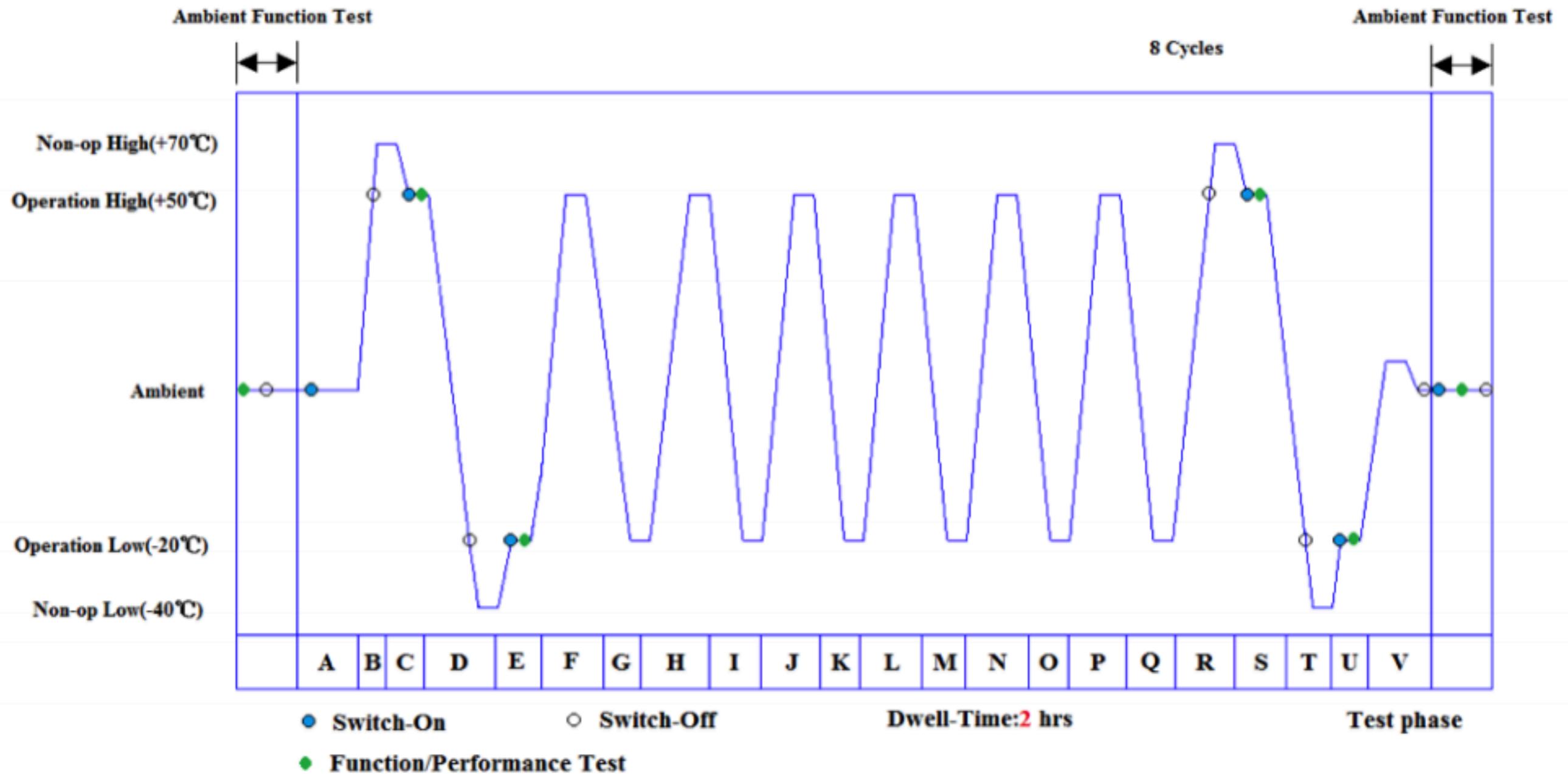


JESD22-A106 spec thermal shock test conditions

Condition	Low Temp	High Temp
A	-40 (+0/-30) °C	85 (+10/-0) °C
B	-0 (+2/-10) °C	100 (+10,-2) °C
C	-55 (+0,-10) °C	125 (+10,-0) °C
D	-65 (+0,-10) °C	150 (+10,-0) °C



熱真空溫循測試程序圖

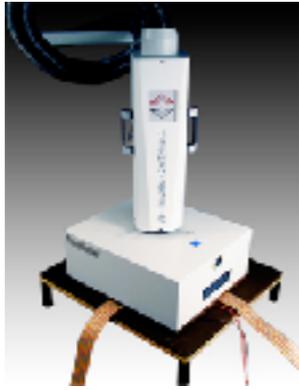
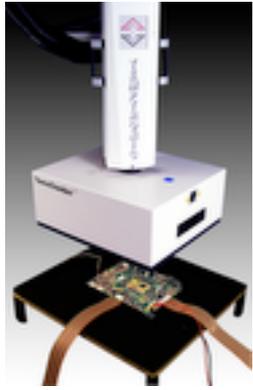




熱真空測試系統的選擇

- All in one (chamber + source).
- Modular thermal system: chamber and source are separated.





Hood

Clamshell

Front load





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





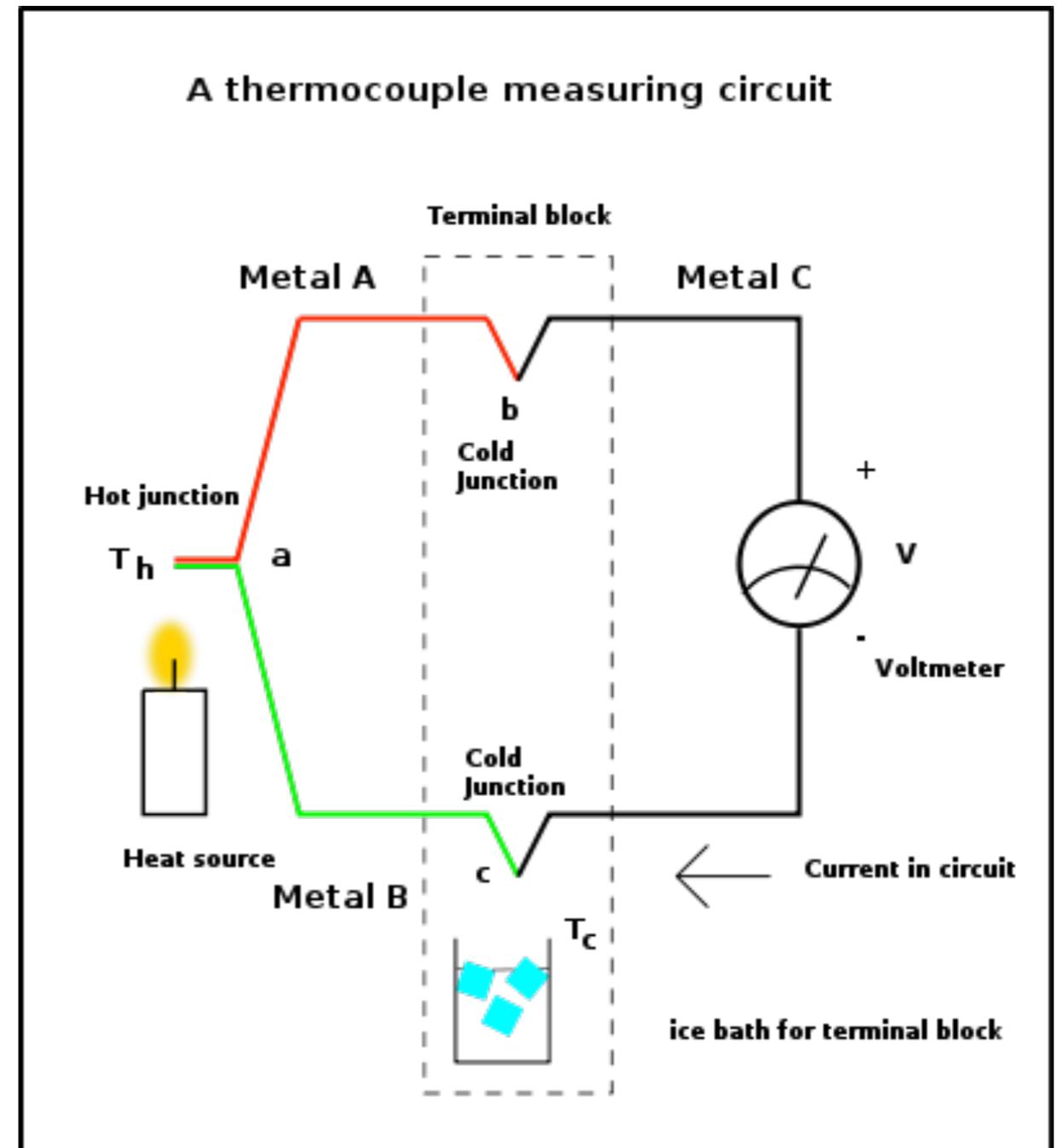
熱電偶(thermocouple)

- 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

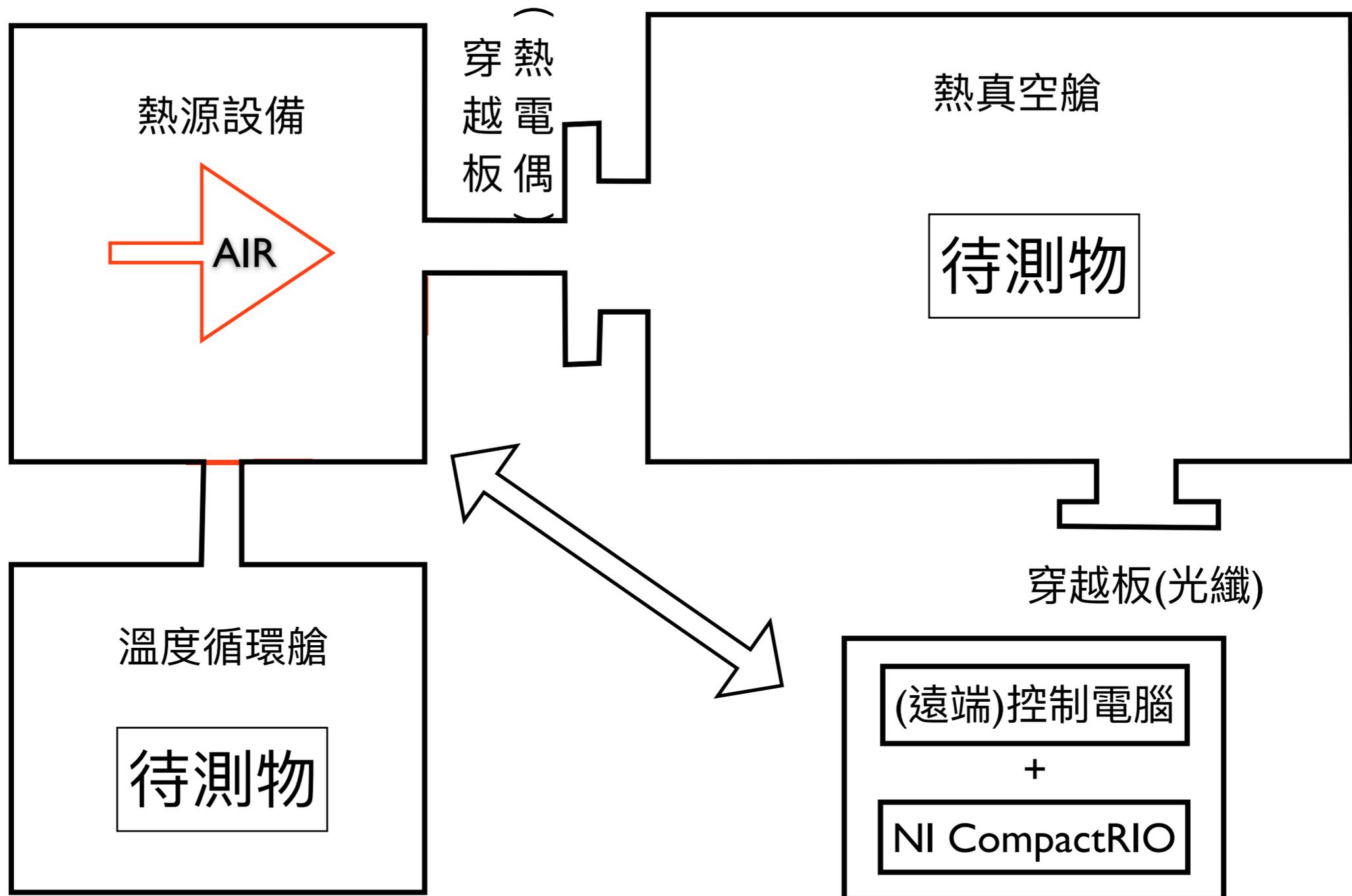
- 測試系統架構
- 熱源供應設備
- 熱真空艙
- 溫度循環艙
- NI CompactRIO





測試系統架構

熱真空測試





熱源供應設備

- Overview of JULABO FP90-S
- Ultra-Low Refrigerated Circulators (超低溫冷凍循環器)

- Specification(規範)

- Working temperature range: -90~100°C
- Temperature stability: $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$
- Dimensions: 59(D) \times 76(W) \times 116(H) (cm³)
- Bath dimensions: 28(W) \times 23(L) \times 20(D)
- Filling volume: 22L
- Remote control: RS232,RS485
- Oil type: HL80

Cooling capacity($^{\circ}\text{C}$)	+20	0	-20	-40	-60	-80
Medium ethanol(kW)	1.8	1.7	1.6	1.35	0.75	0.15





熱真空艙

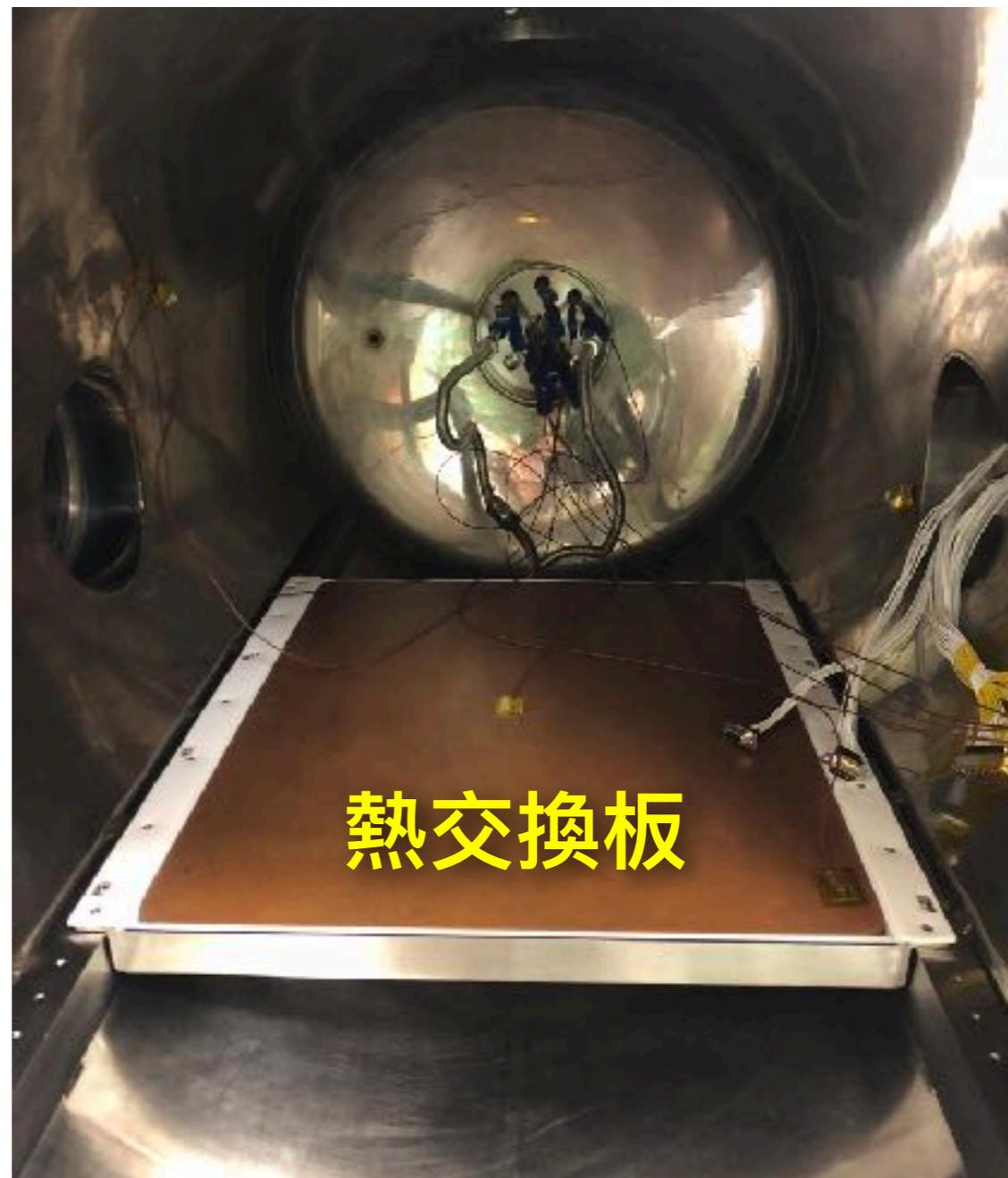
- 功能：測試太空酬載在真空與熱的複合環境之能力
- 壓力： $<3 \times 10^{-4}$ Pa
- 溫度範圍： $-40 \sim +80^{\circ}\text{C}$
- 循環板溫度均勻度： $\sim \pm 3^{\circ}\text{C}$





熱交換板

- 熱交換板放置在熱真空艙內，提供待測物放置的平面與熱交換的介面。
- 出入熱流管線採用 SS304不鏽鋼材質，和熱流與熱電偶穿越板相接。
- 熱源供應設備提供壓縮空氣由熱流與熱電偶穿越板的一端流入管線，另一端則將廢氣排出艙外。





真空計

- 型號：PKR 251
- 功能：量測接近真空之氣體壓力
- 壓力量測範圍：1大氣壓 $\sim 5 \times 10^{-7}$ pa
- 結合兩種不同範圍之真空計：
 - 派藍尼真空計： $2 \times 10^4 \sim 2$ pa
 - 冷陰極真空計： $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-8}$ pa





真空幫浦

- 型號：TG800FVAB
- 功能：將真空艙抽至高真空狀態
- 抽氣速度：820 L/s (N₂)，650 L/s (H₂)
- 極限壓力： $<1 \times 10^{-6}$ pa (7.5×10^{-9} torr) (在運作48小時後)
- 旋轉速度：33,600 rpm
- 前行壓力：330 pa





直驅油封旋轉幫浦



電源控制箱



真空計控制器



熱流與熱電偶穿越板



NI CompactRIO

- 堅固的嵌入式控制與資料擷取系統
- 可重設FPGA機箱
- 10/100BASE-T 乙太網路埠、USB 2.0、RS232序列埠可連接週邊設備
- 透過NI LabVIEW圖形化程式設計工具即可設定並運用



NI 9214
高精度溫度量測模組



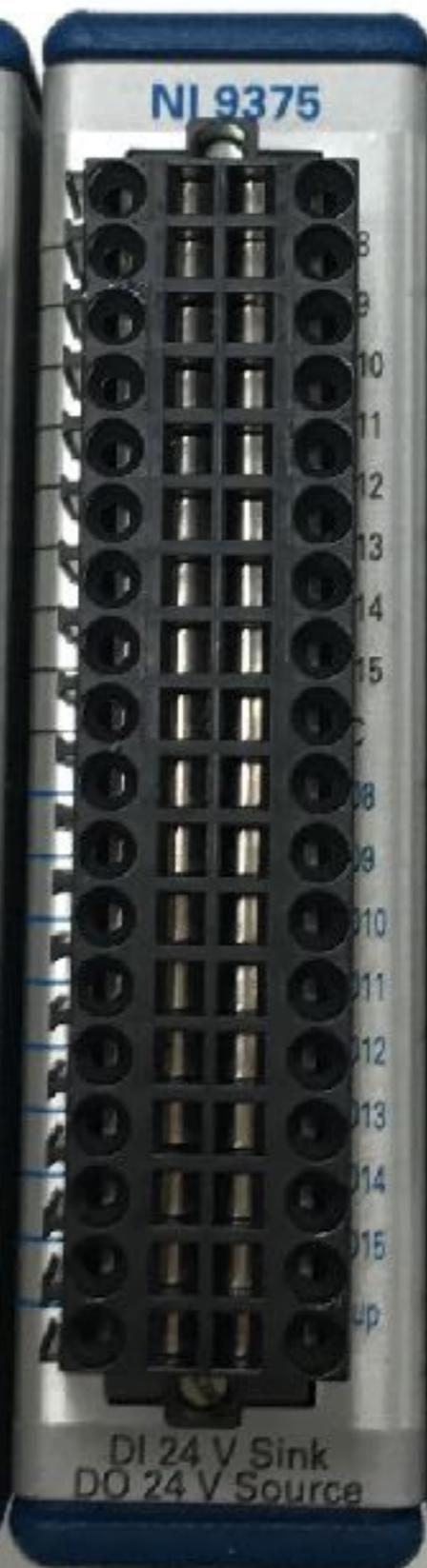
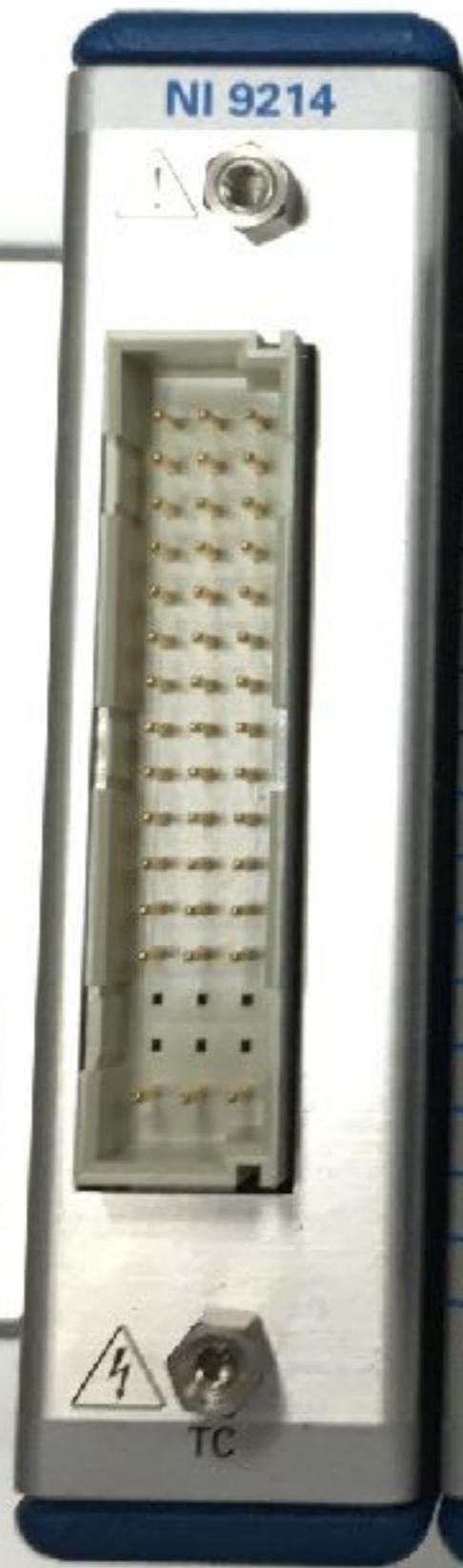
NI 9870
RS232序列界面模組



NI 9871
RS422/485序列界面模組

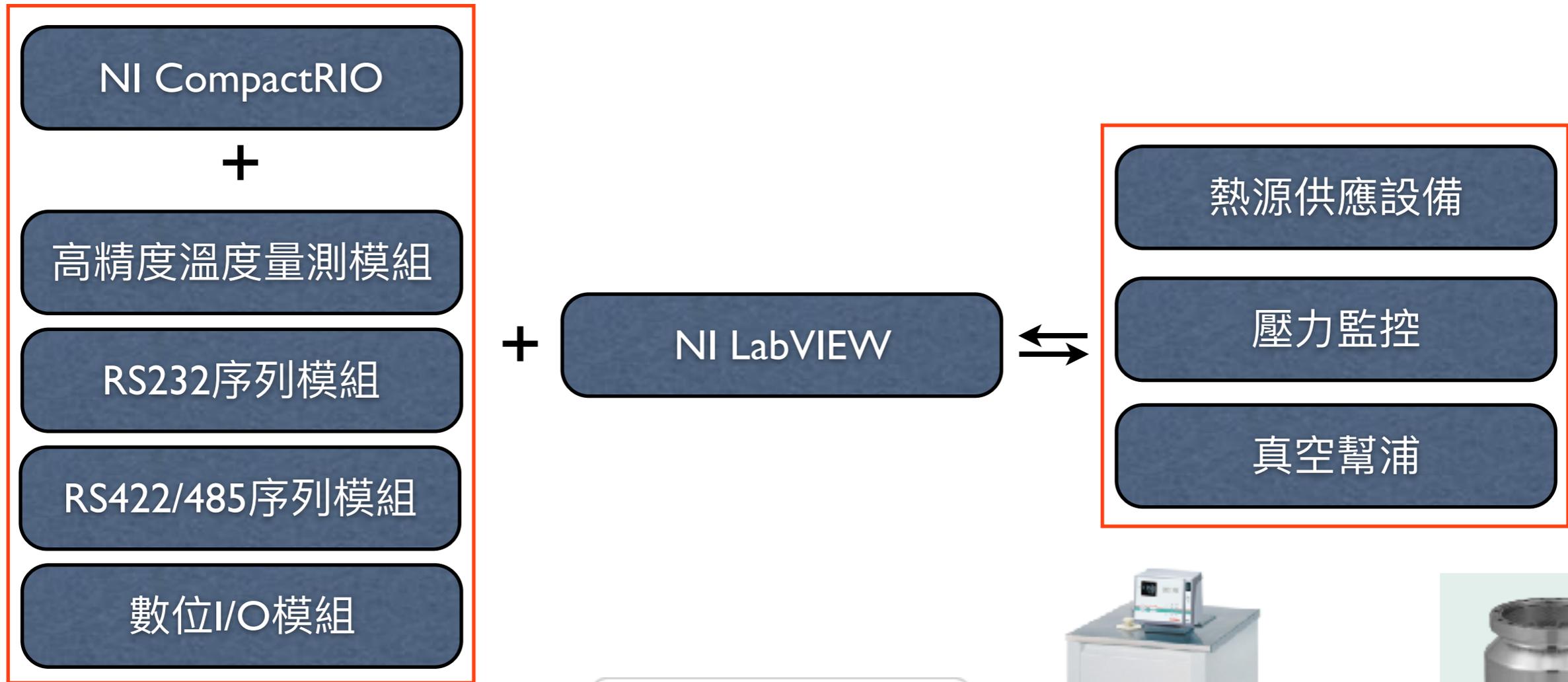


NI 9375
數位I/O模組





軟體與模組





溫度循環測試系統 -太空中心

作業容量：1.5 公尺 (深)×1.5 公尺 (長)

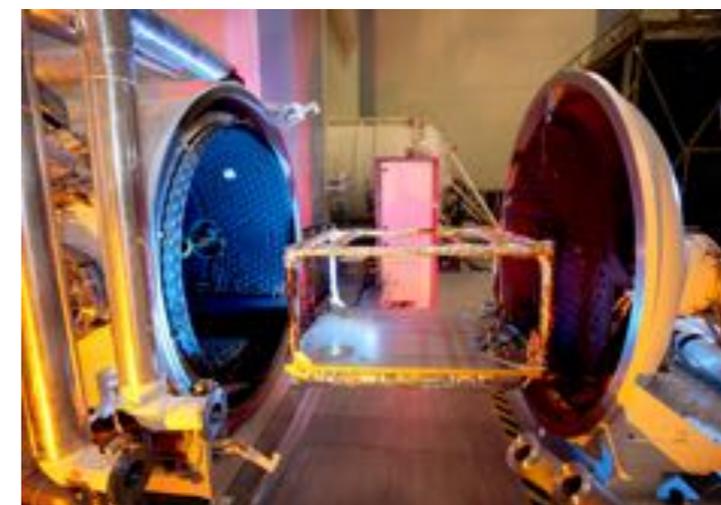
極限壓力：10⁻⁷ mbar

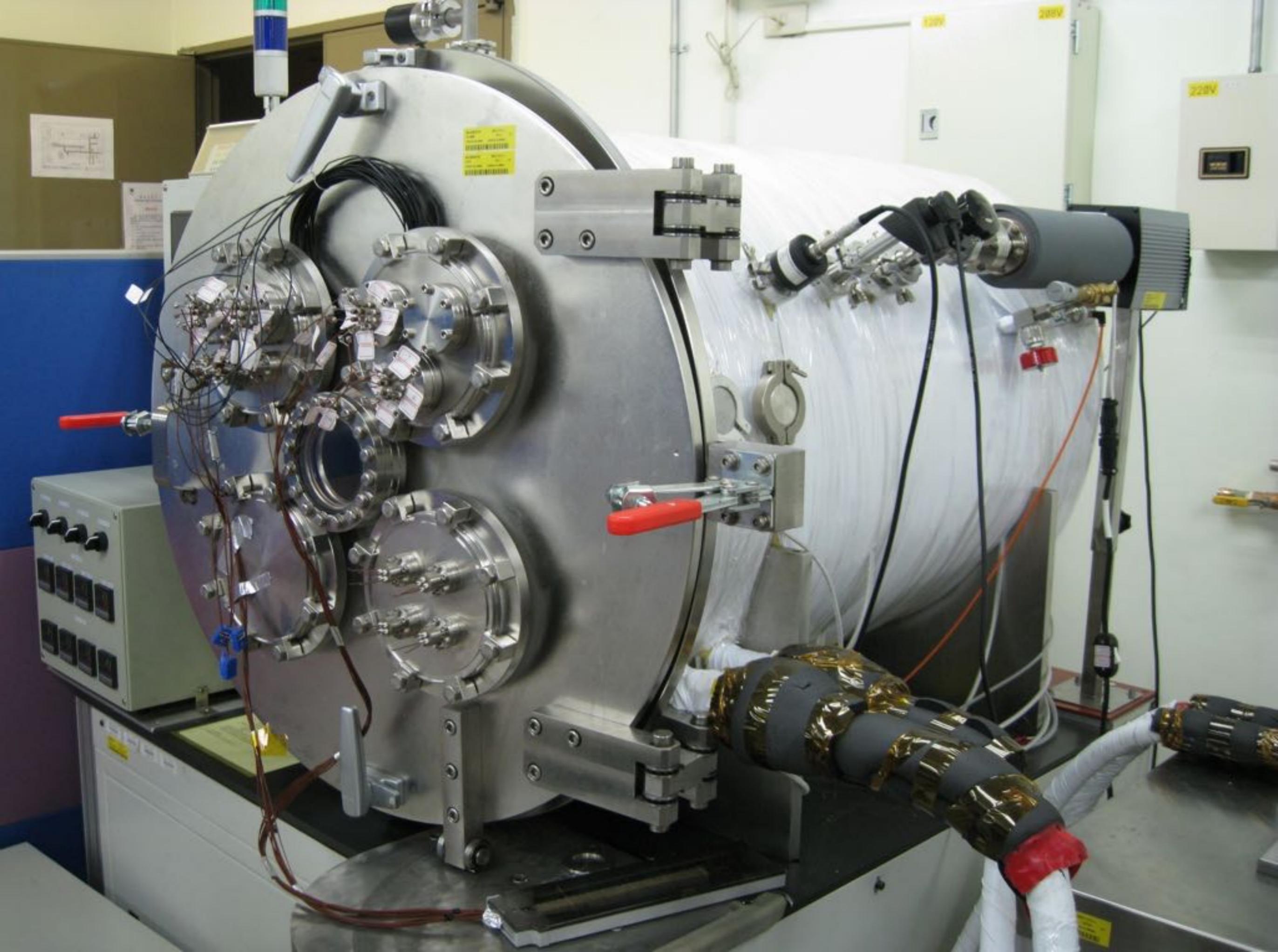
溫度範圍：77K~400K

抽氣速率：10⁻⁵ mbar in 4 Hours

基板溫控範圍：213K~373K

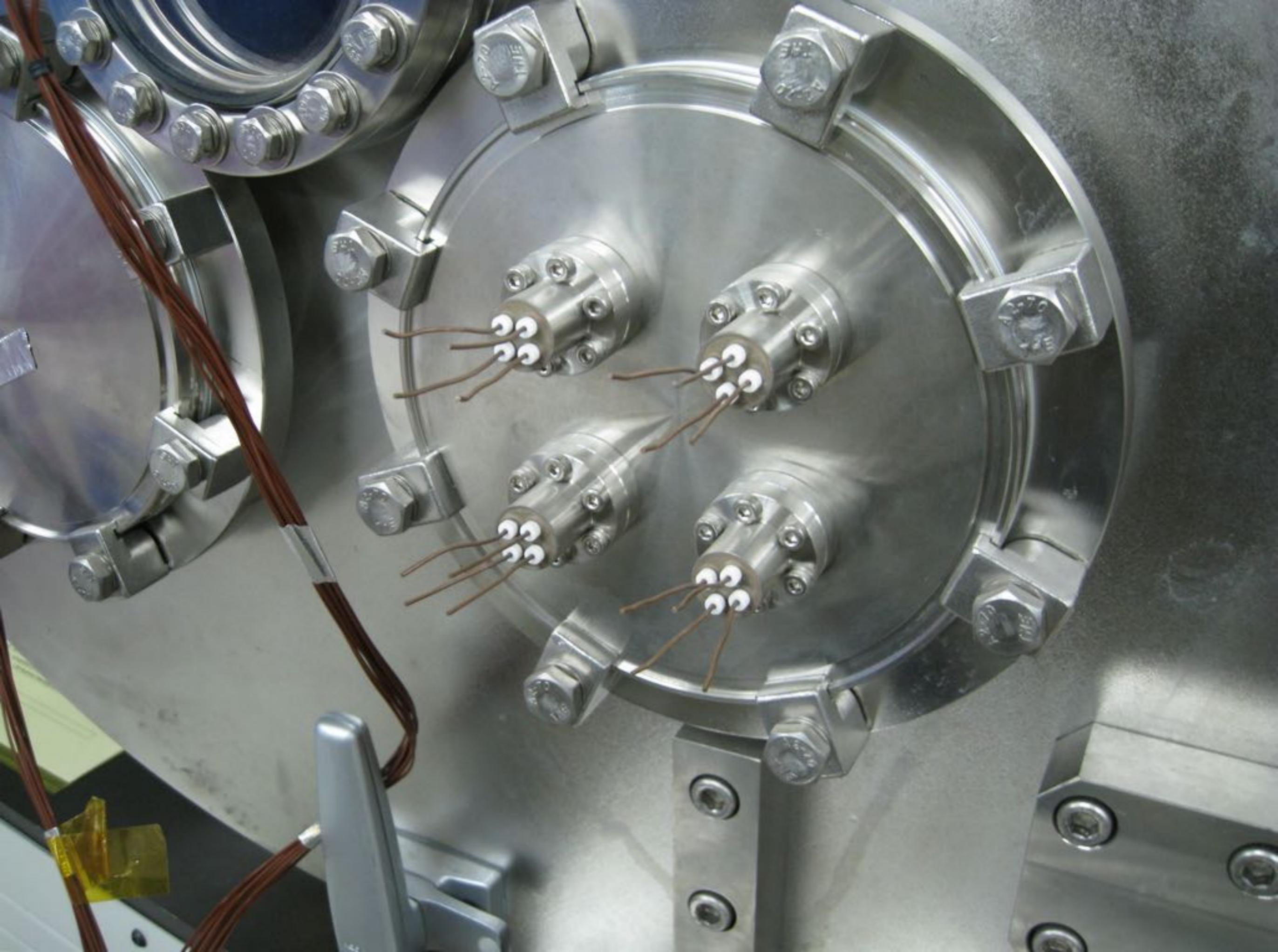
基板調節速度：80K/hr

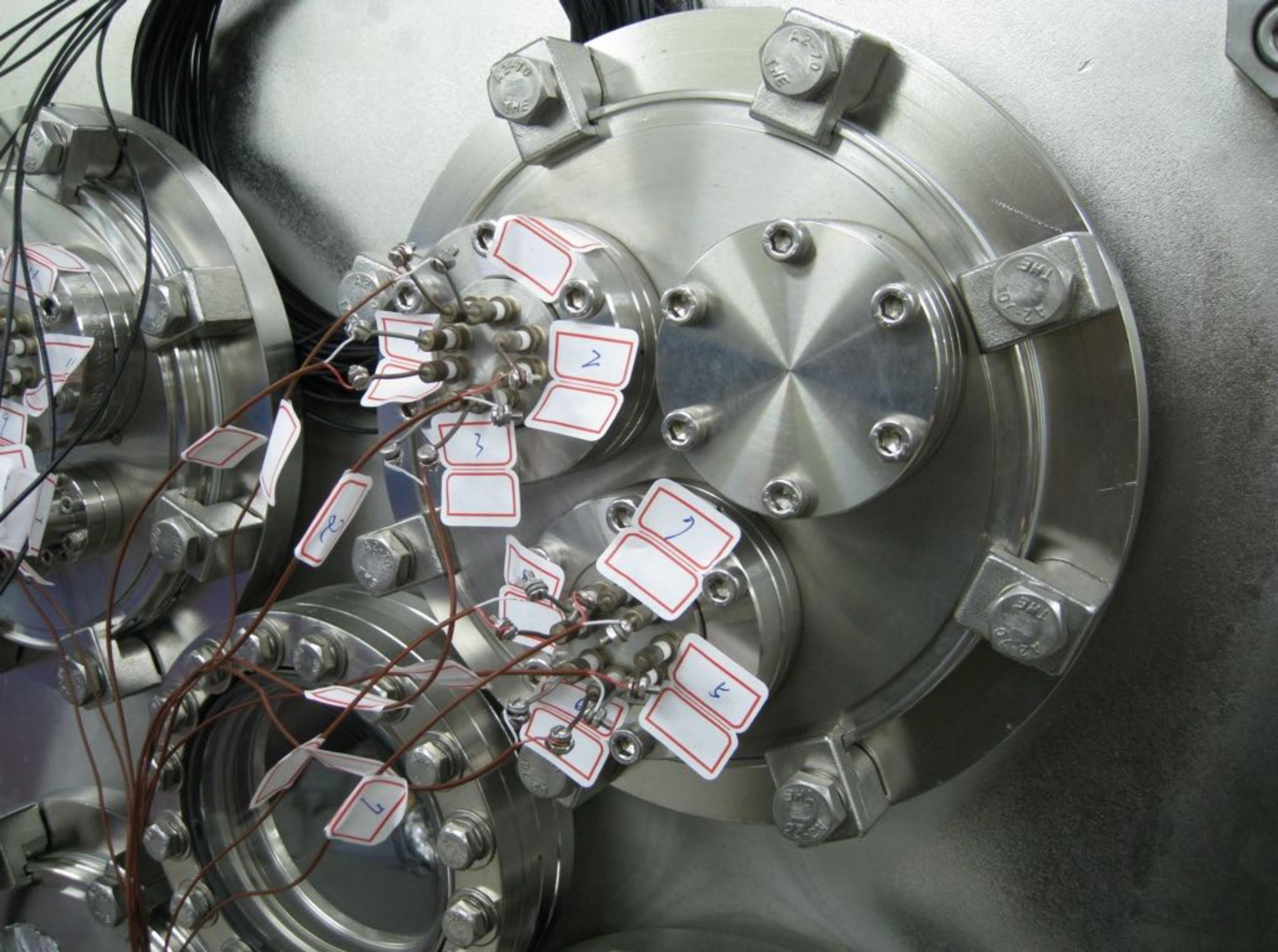












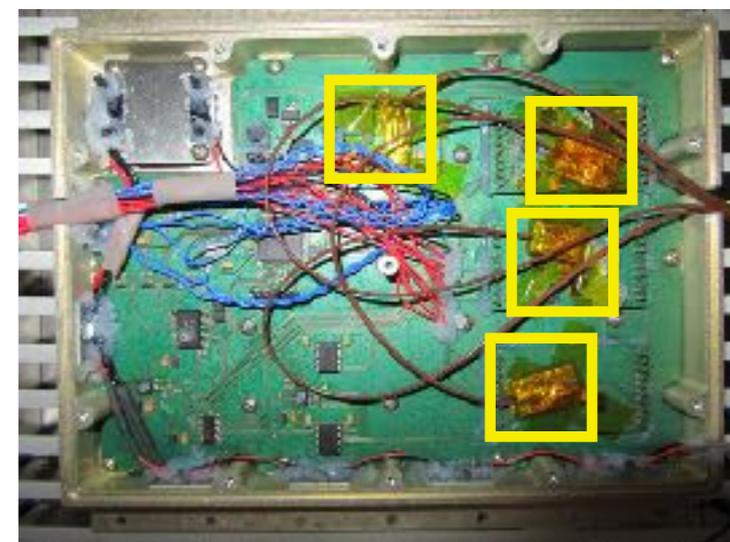
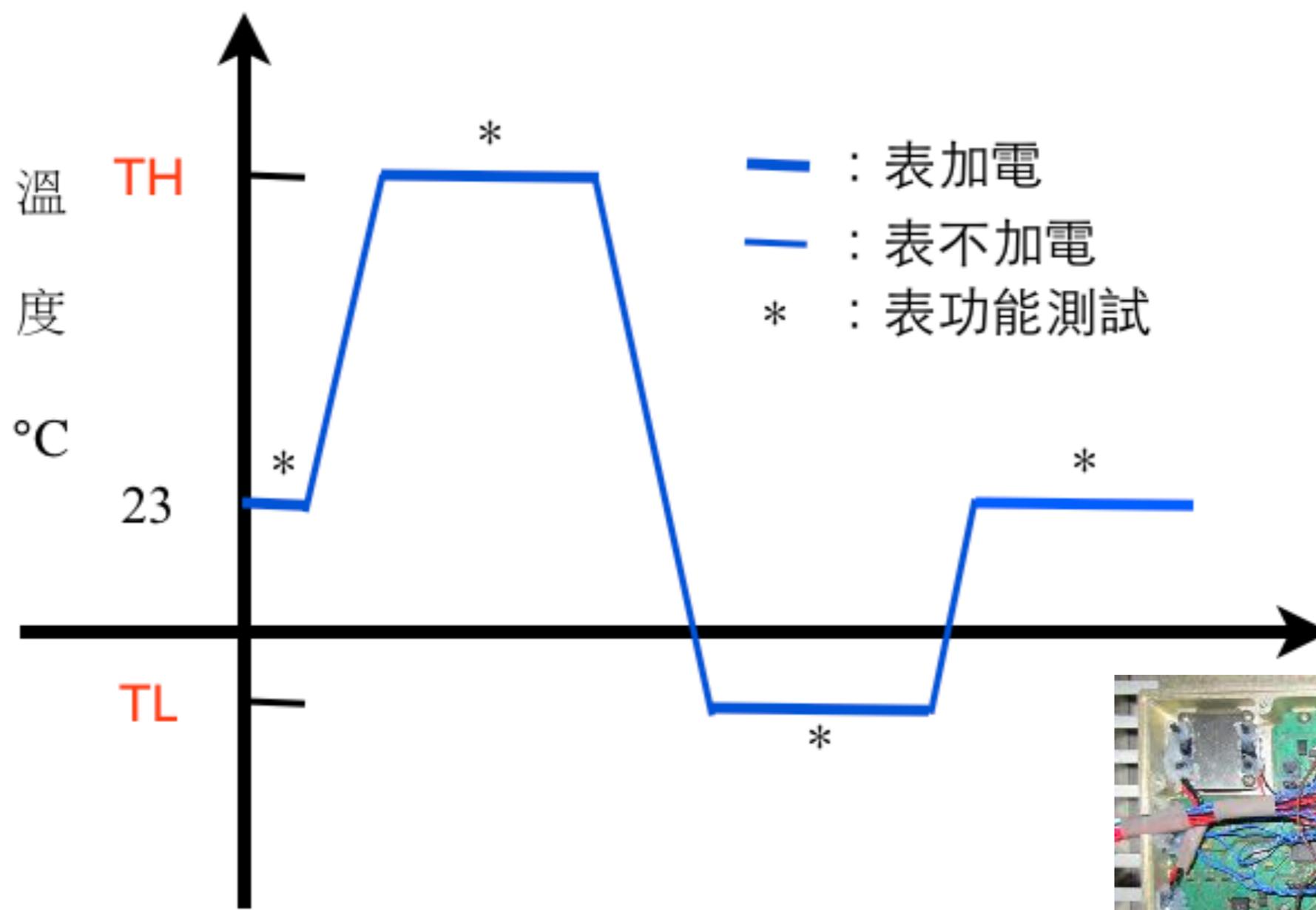


實際測試

- 探空八號-姿態計：溫度循環測試
- 中大-多功能積光元件：溫度循環測試
- 探空九號-光纖陀螺儀：真空測試
- 探空九號-太空電漿量測儀：溫度循環測試
- 福衛五號-先進電離層探測儀：熱真空測試



探空八號-姿態計

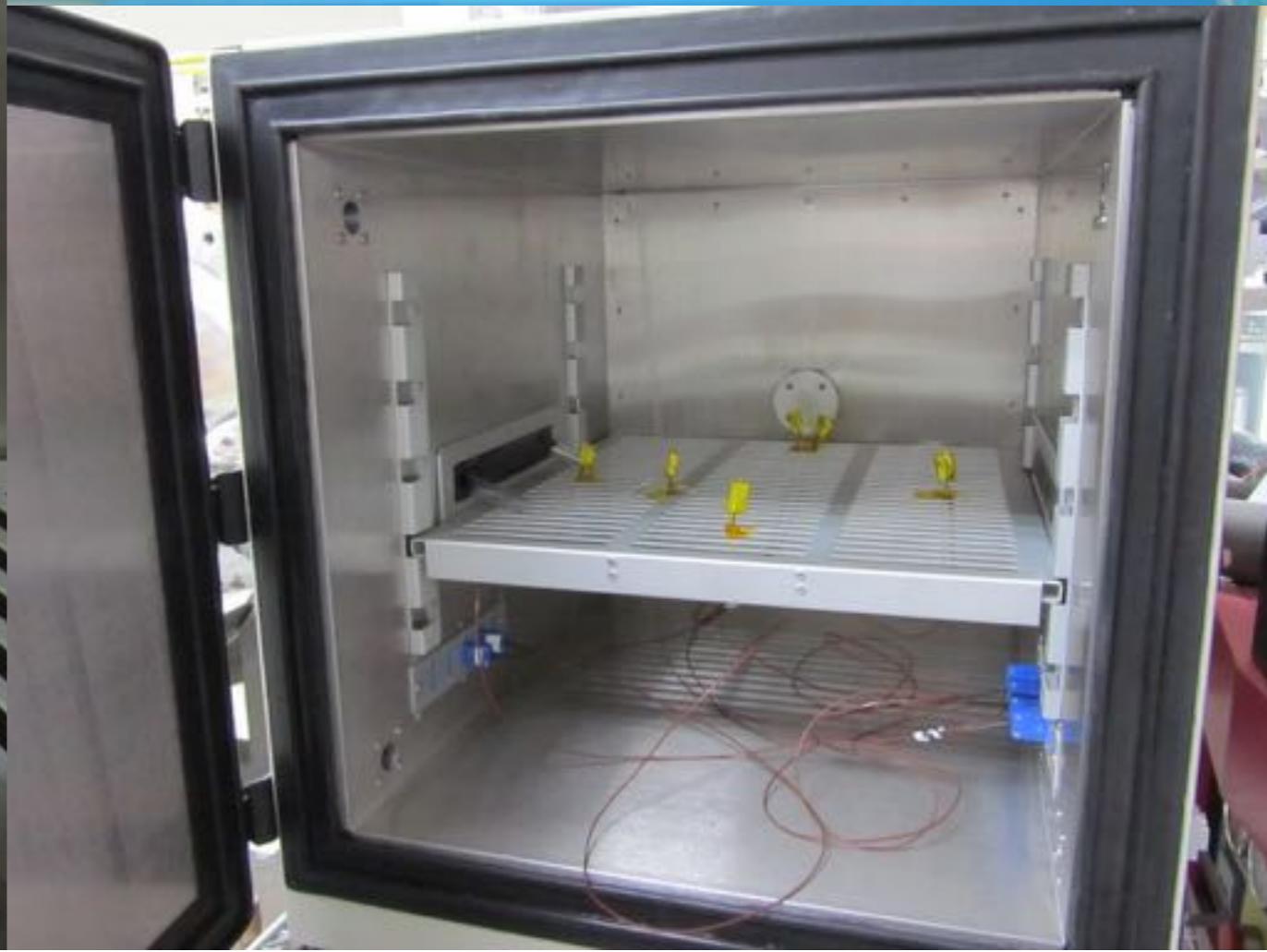
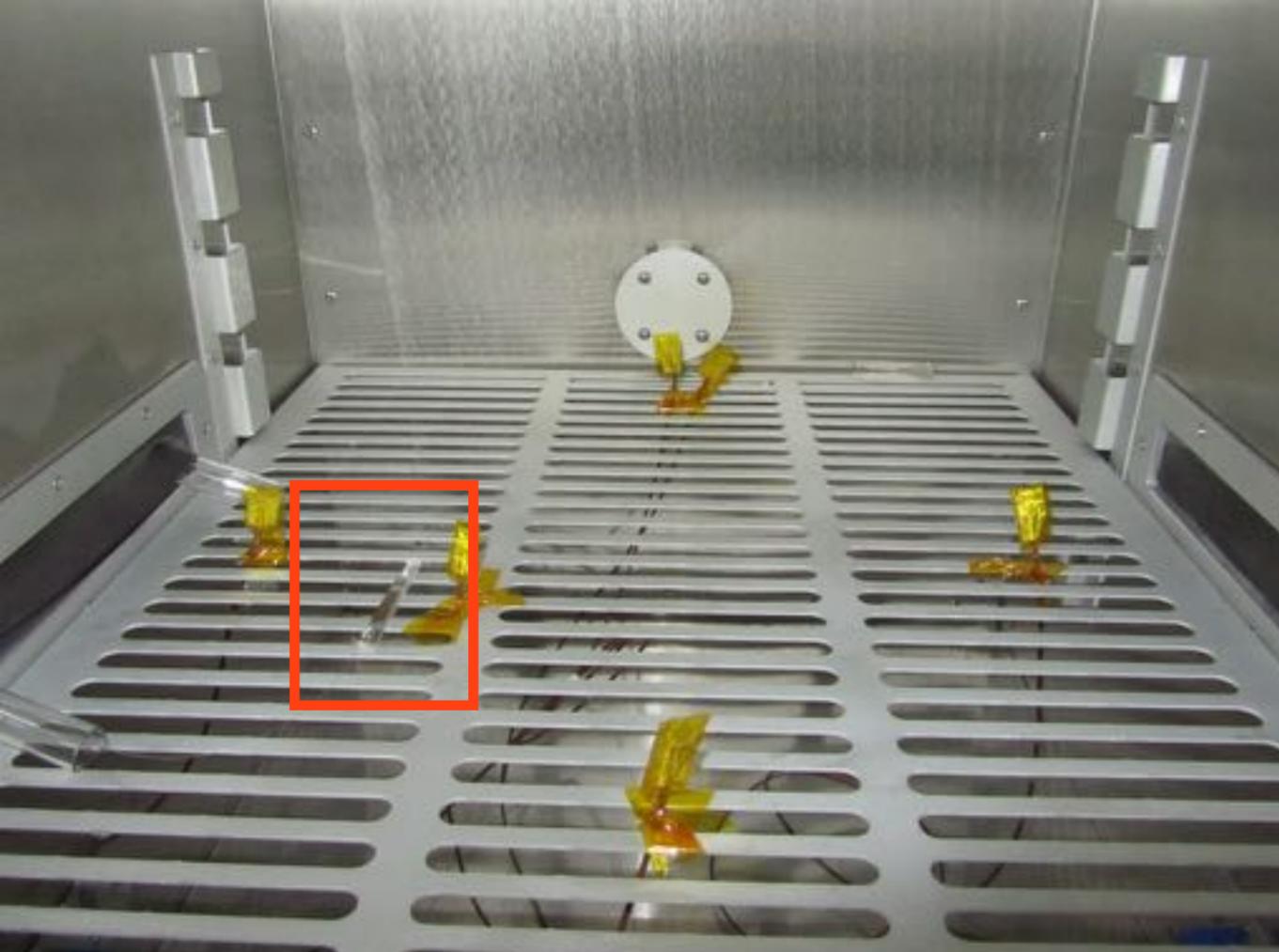


姿態計上溫度循環測試量測點



中大-多功能積光元件

- 測試需求
 - 溫度範圍： $-34^{\circ}\text{C}\sim+71^{\circ}\text{C}$
 - 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： 2小時
 - 循環數： 八
 - 壓力： $1.33\times 10^{-3}\text{ pa}$ 或更低



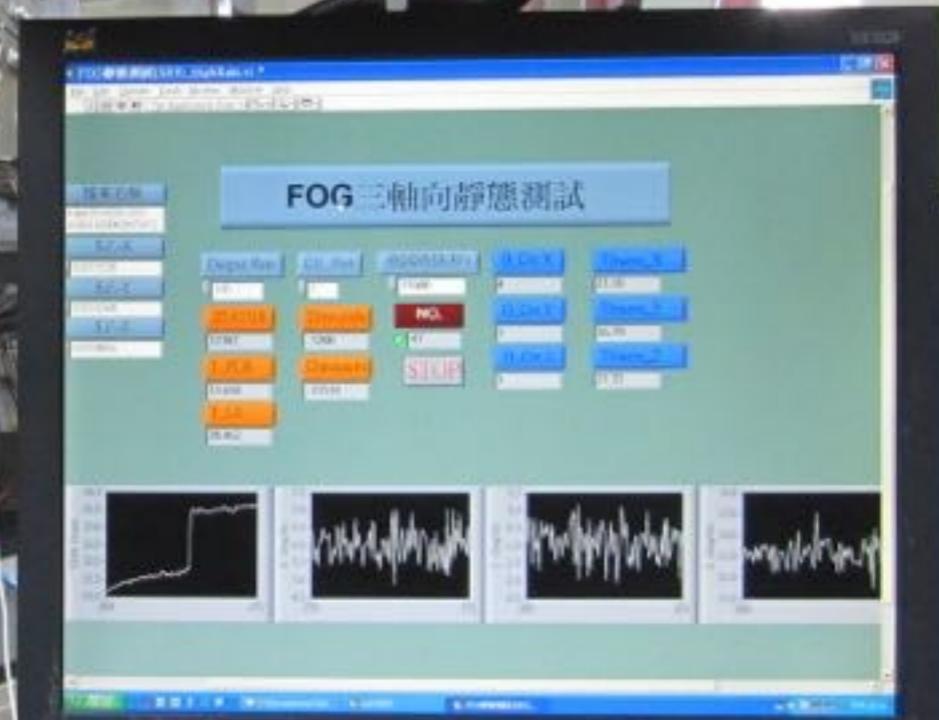
多功能積光元件

探空九號-光纖陀螺儀



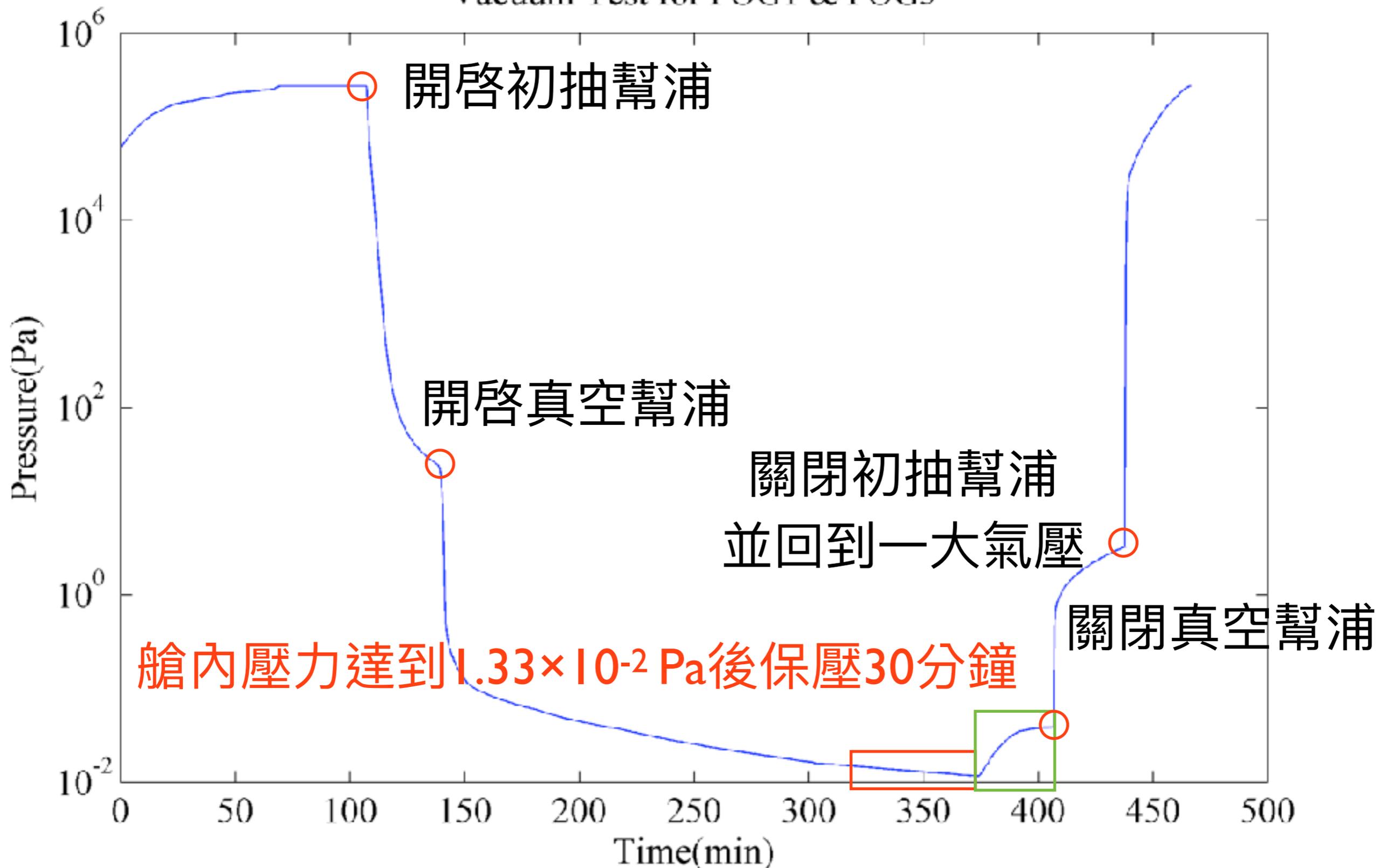
艙內壓力值為 1.33×10^{-2} Pa (1×10^{-4} Torr)

符合真空測試的壓力需求





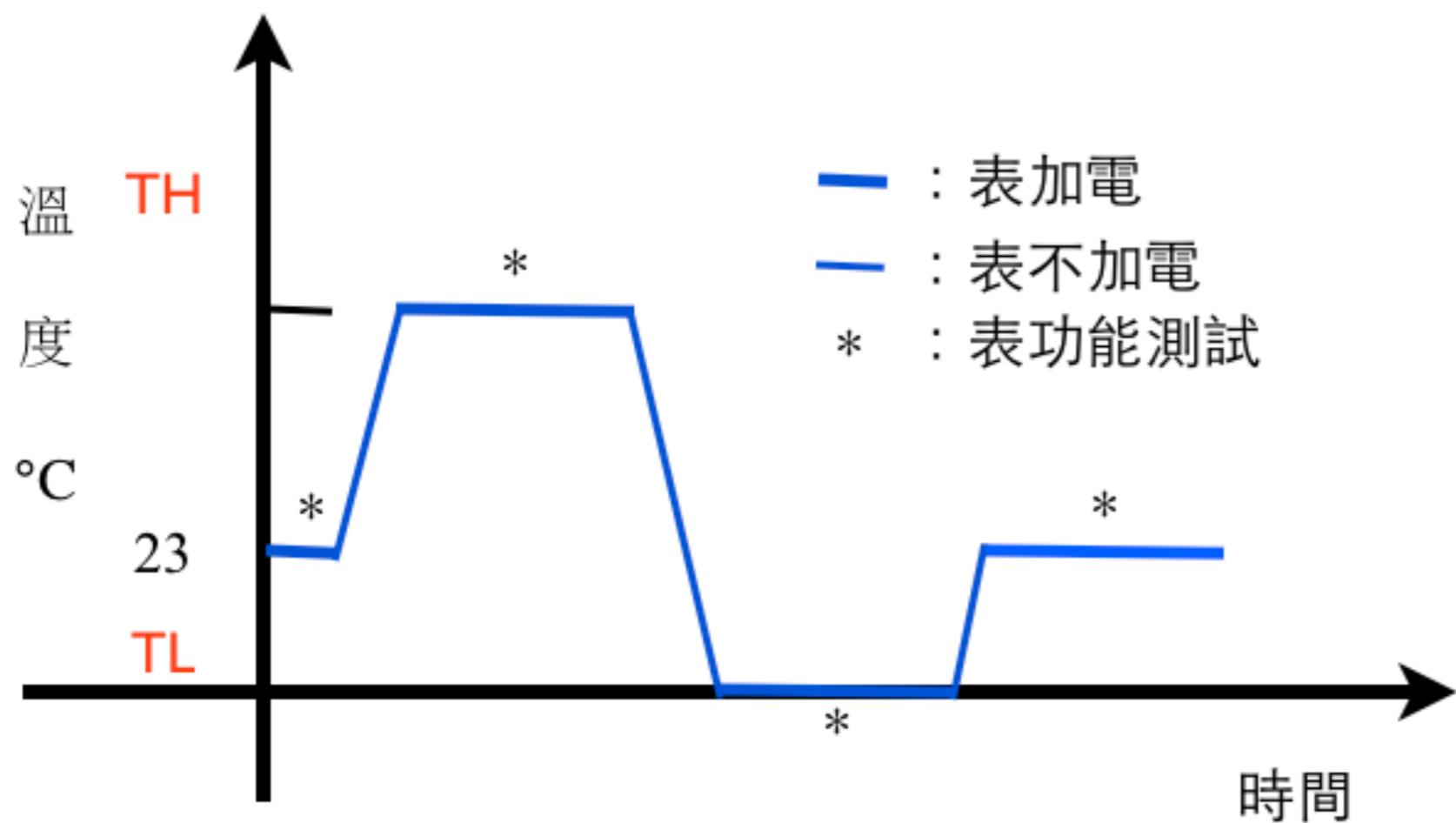
Vacuum Test for FOG1 & FOG3



開啓光纖陀螺儀電源十分鐘後執行功能測試



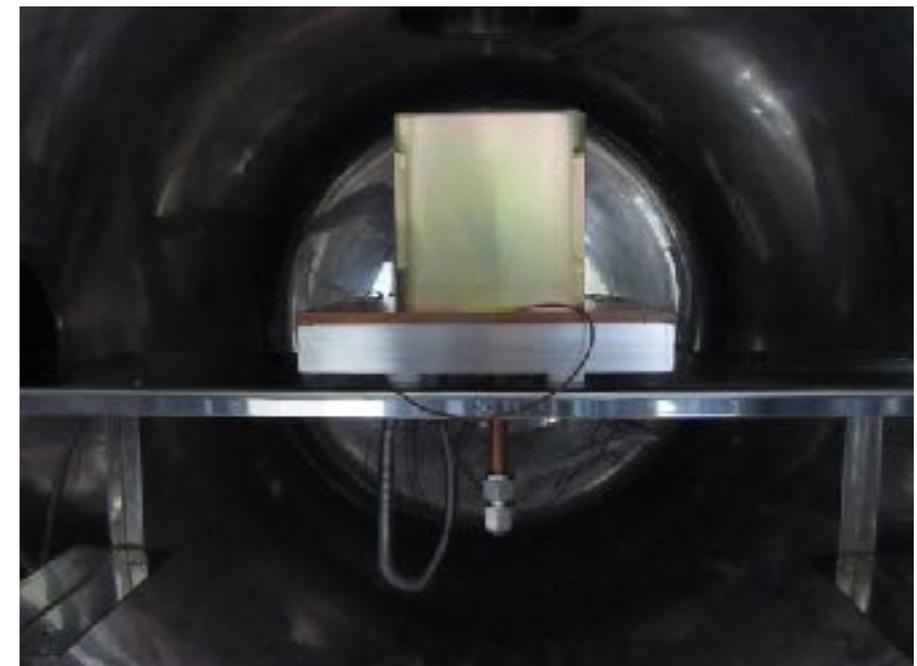
探空九號-太空電漿量測儀





福衛五號-先進電離層探測儀

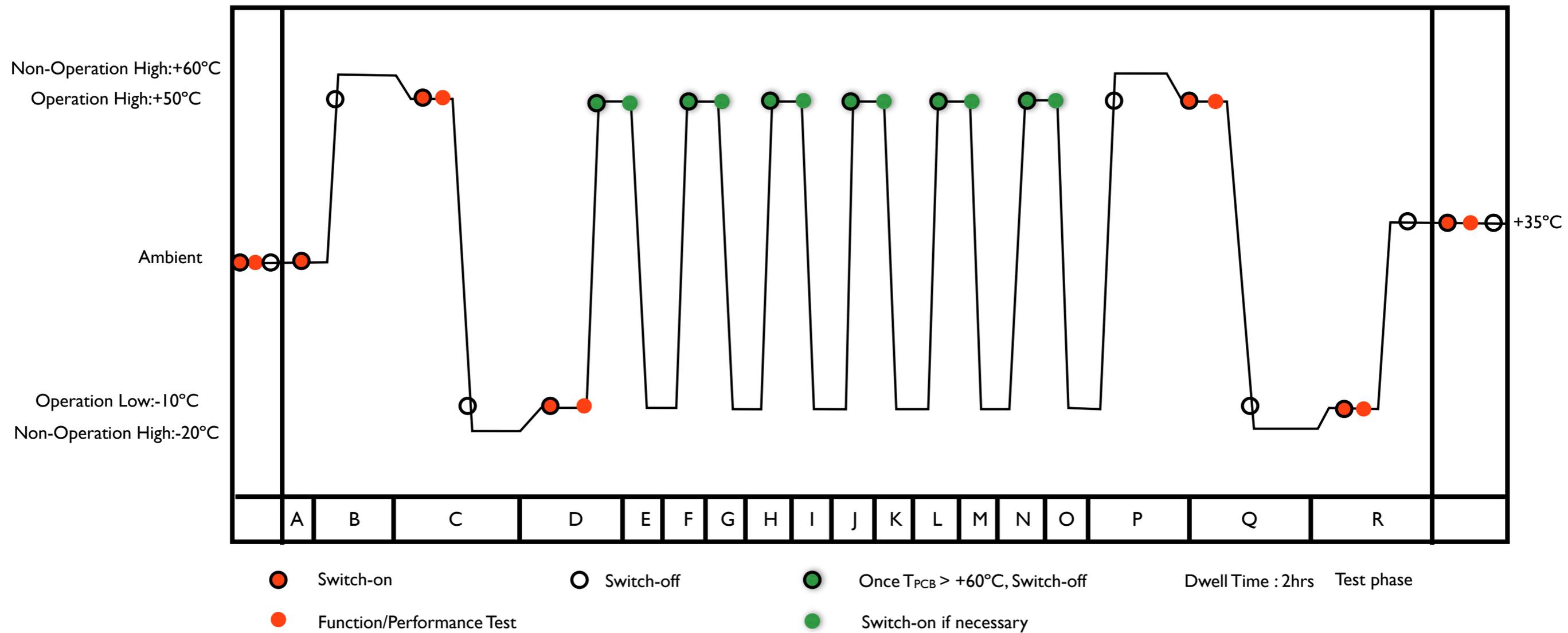
- 測試需求
 - 溫度範圍： $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$
 - 功測範圍： $-20^{\circ}\text{C}\sim50^{\circ}\text{C}$
 - 溫度變化速率： $\geq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - 保溫時間： 2小時
 - 循環數： 八
 - 壓力： 5.0×10^{-3} pa或更低





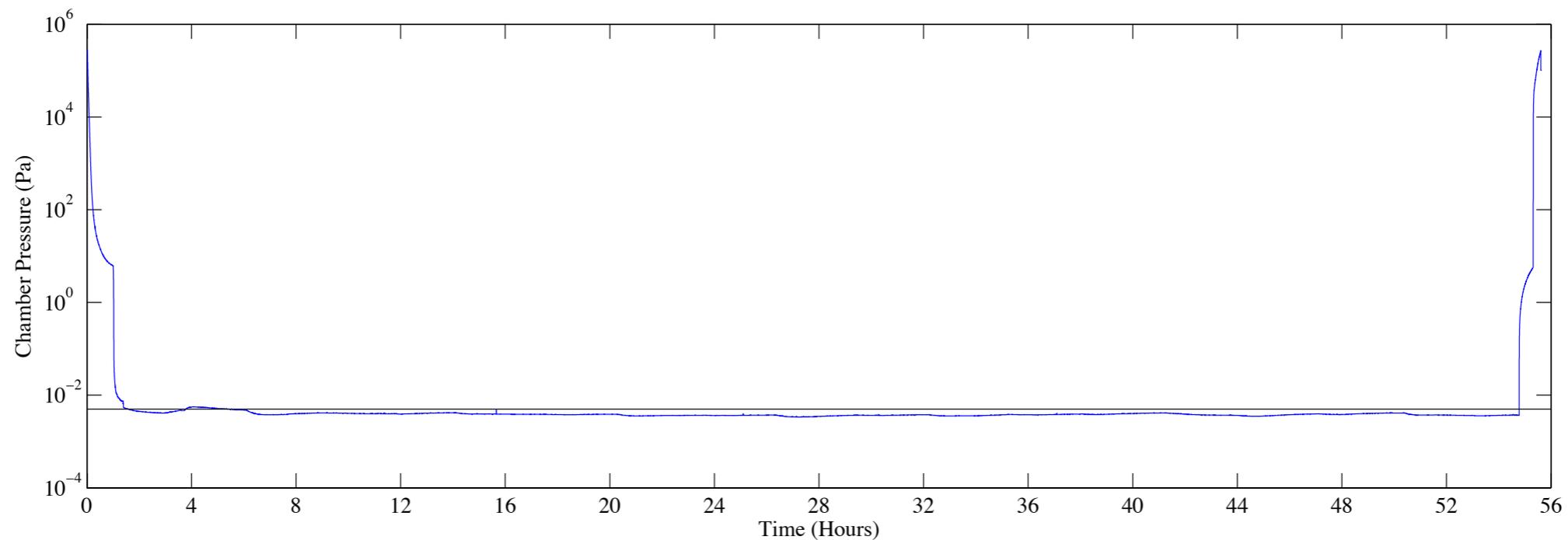
測試程序圖-SPEU

8 Cycles





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

