

# 電動車鋰電池的散熱處理對策

林唯耕

國立清華大學榮譽退休教授

**T-Global C.T.O**





## About T-Global

Being the expert in the thermal solution engineering field, T-Global find that thermal interface materials(TIM) are helpful in various industries. Therefore, we decided to start our business with thermal interface materials(-TIM).

# 2003

T-Global was founded in 2003



15 years professional experience



The designated supplier of 2500+ enterprises worldwide



5 branch offices worldwide

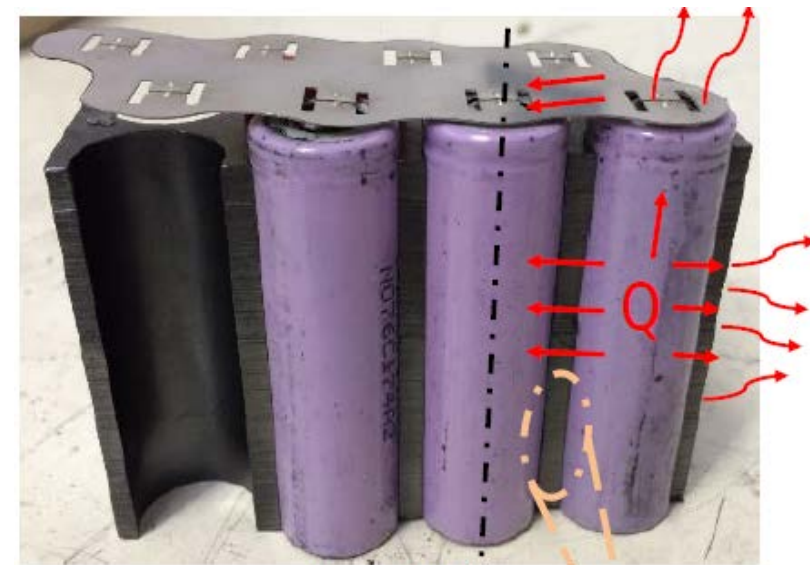


# 電動車鋰電池工作溫度與安全性

- ▶ 鋰電池由於高能量、高充放電性能而普遍應用在電動車產業，其中又以18650鋰電池(直徑為18毫米，高度為65毫米)最為常見，但鋰電池有工作溫度限制
- ▶ 超出工作溫度會有充放電效率不彰以及熱失控(Thermal runaway)



圖1.為Tesla所用panasonic生產的18650鋰電池



$$T_c \approx D = \frac{k}{\rho C_p (T)}$$

# 電動車鋰電池熱失控與溫度

- 18650鋰電池在90°C到120°C時溫度會因為化學不穩定性開始急遽上升，此現象稱作熱失控(Thermal runaway)
- 電池模組被加熱達到一定溫度，發生熱失控時電池所噴出之氣體會產生閃燃的現象，寄而產生火焰，燒毀電池甚至車子
- 鋰電池的熱處理：
  1. 散熱與均溫處理
  2. 遭遇不當使用的

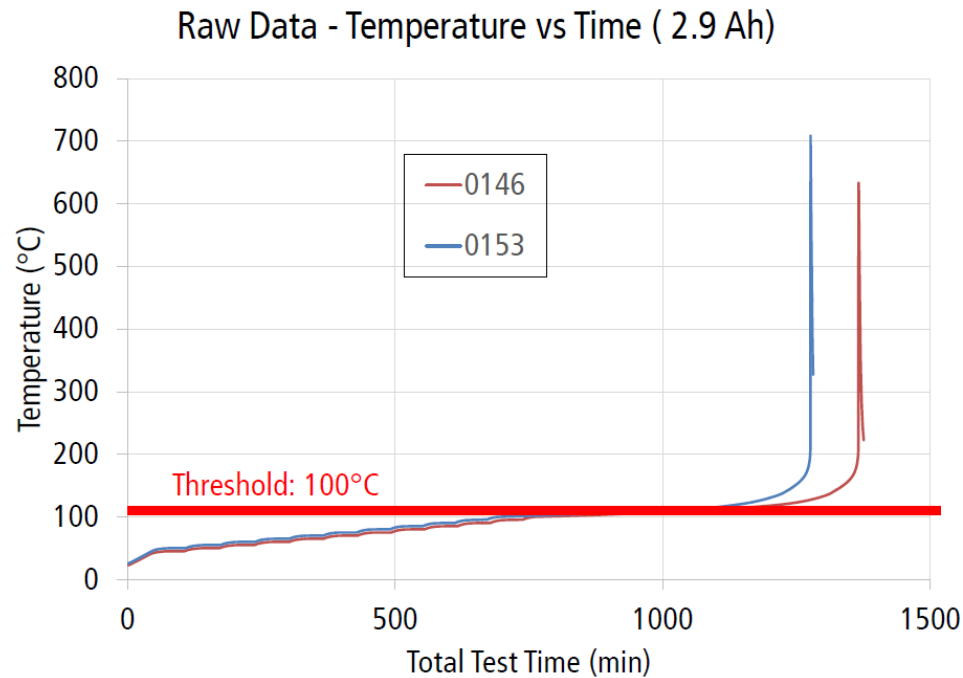


圖2. 電池熱測試溫度與時間之關係

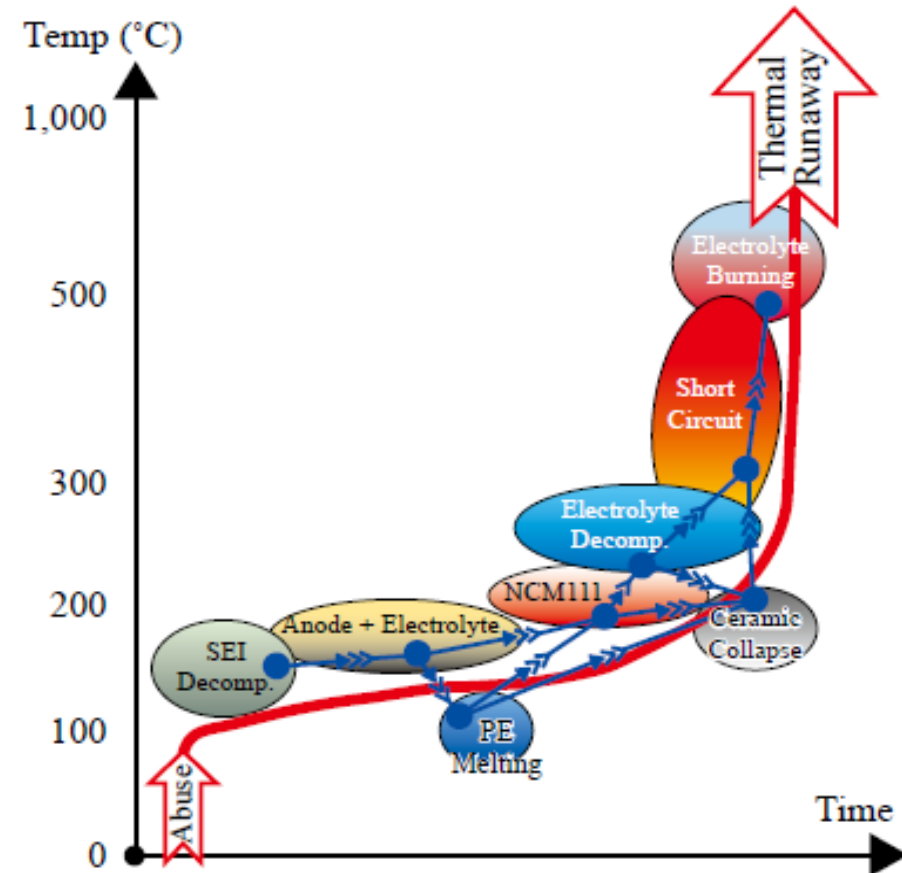


圖3. 電池異常的熱發展反應

# 電動車鋰電池安全性與溫度

- 以Tesla的超級充電站以113.1°F(45°C)為溫度牆，超過溫度牆便會降載充電功率以保持工作溫度在溫度牆內

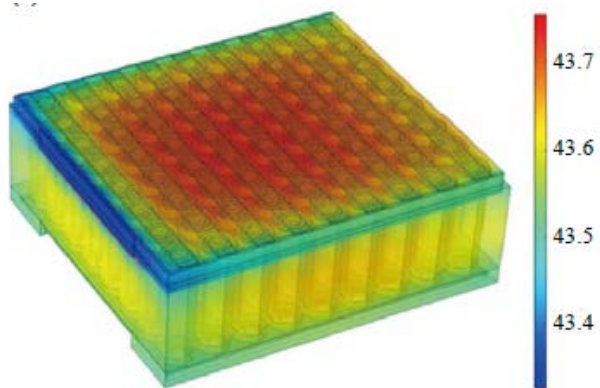


圖4a. 為1S72P18650電池組1C放電下的溫度變化

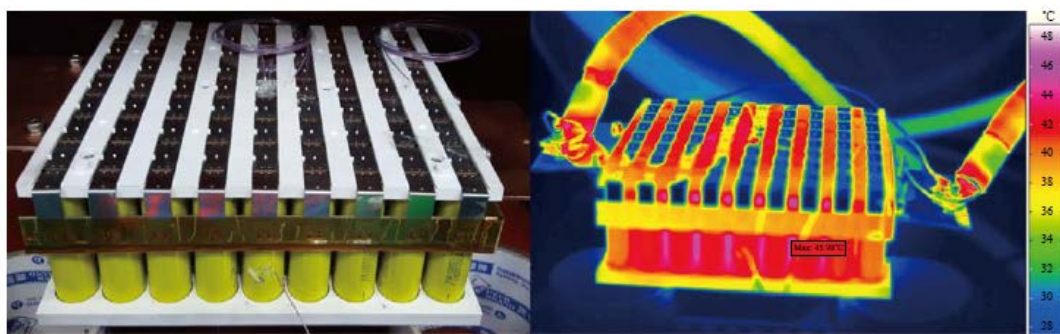


圖4b. 為1S72P以1C放電最高溫度IR量測(材料世界網)

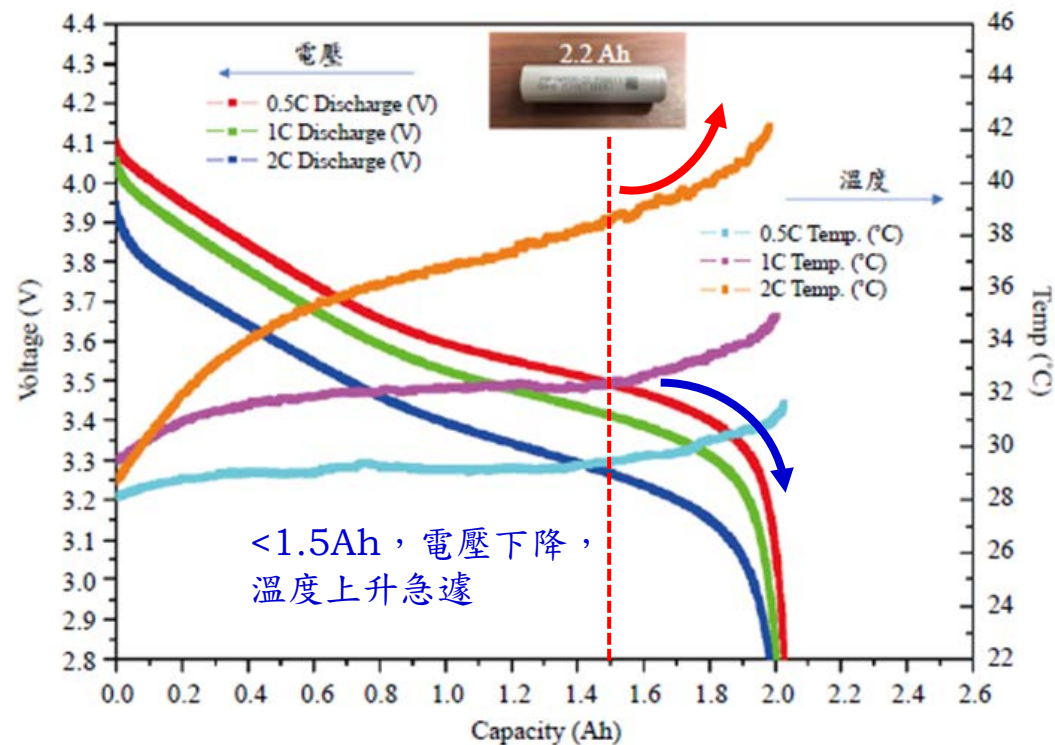


圖5. 為2.2Ah18650電池在各種放電C-rate下電壓變化與溫升

# 電動車鋰電池的均溫性

- 當電池發熱量越大，不均勻程度越高，而高溫電池的材料衰減速率大於低溫電池，一般需要控制溫差小於 $5^{\circ}\text{C}$
- 一台Tesla Model S 有 7104 顆 18650 電池，要同時維持7104顆溫度的一致性是相當浩大的工程



圖6. Tesla電池底板

# 熱失控與均溫填充物的研究

- 為了測試出不同材料可否預防熱失控(thermal runaway)  
建立一個小型的18650電池包(10S4P)進行鑽刺測試---評估車輛因交通意外事故而導致電池遭受尖銳物穿刺的情況下，是否會發生爆炸與起火。
  - Air
  - Wax
  - Graphite
  - Graphite & Wax (PCC)

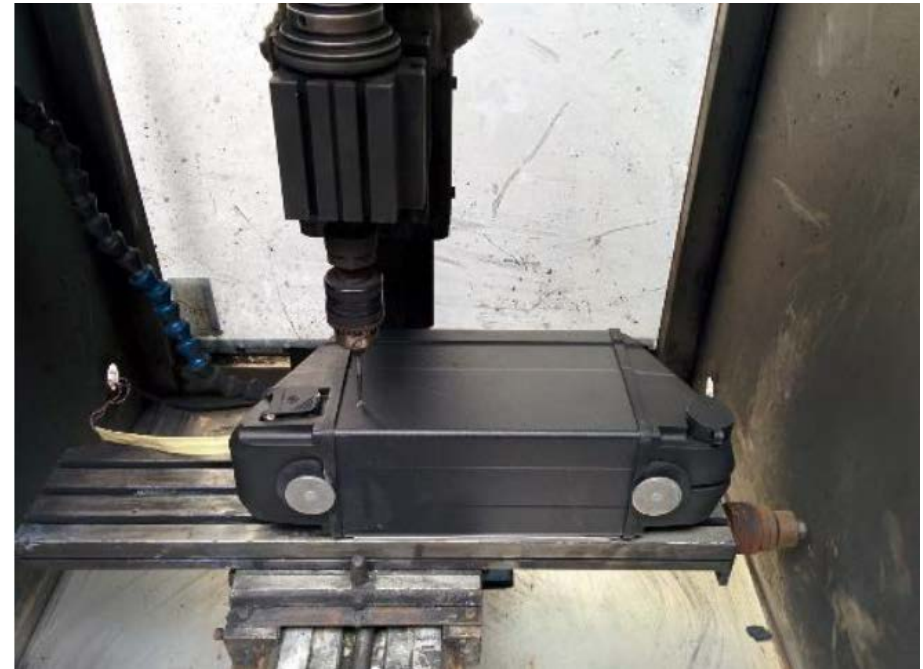


圖7. 鑽刺測試實際圖

# 電動車鋰電池組均溫填充物

- 電池直接接觸產生熱傳遞的材質會直接影響均溫性與傳熱
- 以下探討三個均溫材料在鑽刺測試時溫度變化

## (一) Phase Change Composite(PCC)

- ◆ 20% wt. graphite
- ◆ 80% wt. wax ,
- ◆ Wax micro-encapsulated
- ◆ Melts at 55°C
- ◆ ½ Latent heat of ice

## (二) Graphite (90% porous)

## (三) Wax (100%)

## (四) Air

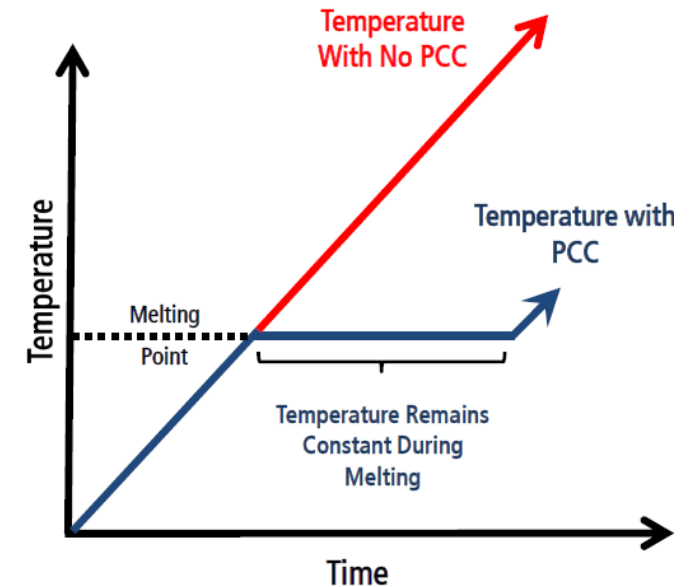
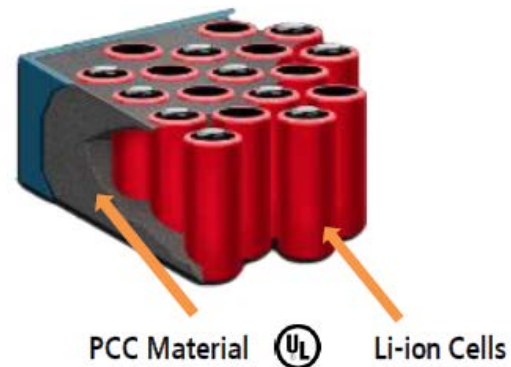


圖8.鋰電池組PCC均溫填充物與溫度之變化



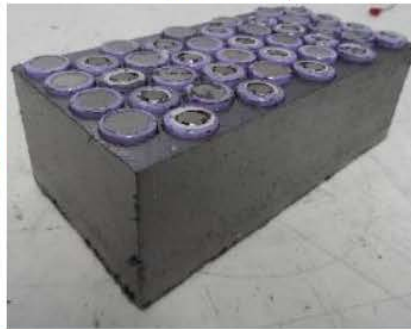
# 不同均溫填充物的材料數據比較

	Air	Graphite Only	Wax Only	PCC
Conductivity (W/m-K)	0.024	13.77 (in-plane)	0.15	17.21 (in-plane)
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1.23	200	775	935
Specific Heat (J/kg-K)	1005	725	2384	1837
Latent Heat (J/g)	N/A	N/A	211	153
Diffusivity (mm <sup>2</sup> /s)	19.42	94.96	0.08	10.02

Air



Graphite Only



Wax Only



PCC



# 不同均溫填充物實際數據比較

Pack Material	Thermal Runaway Propagation?
Air	Fail
Graphite	Fail
Wax	Fail
PCC	Pass

- 在鑽刺測試時，僅PCC沒有發生熱失控

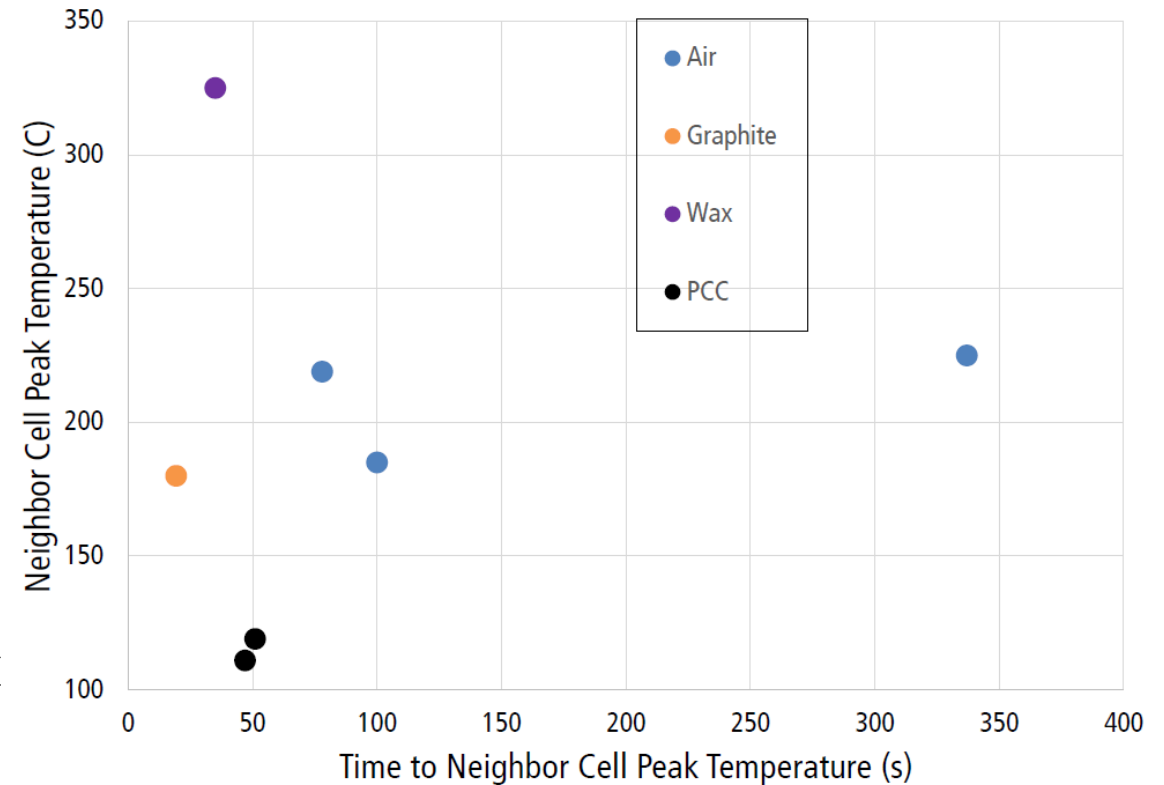


圖9. 鋰電池組不同填充物對隣進電池芯之溫度比較

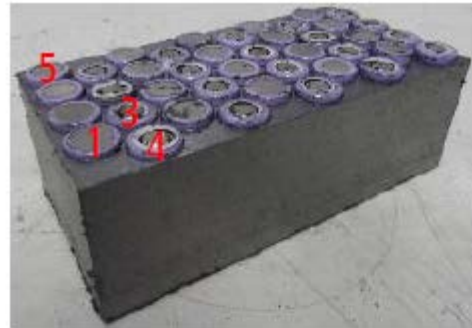
## Air Pack



Trigger String  
Neighbor String



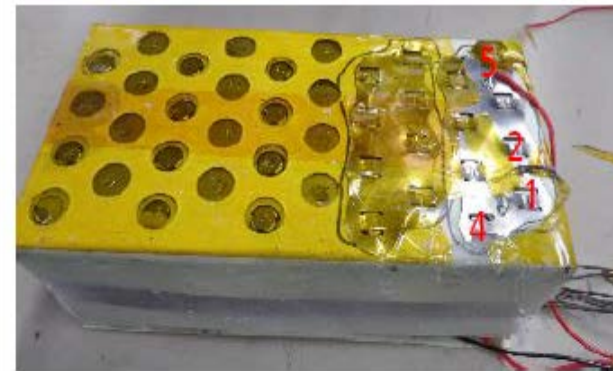
## Graphite only



Trigger String  
Neighbor String



## Wax only



Trigger String  
Neighbor String



## Phase Change Composite (PCC)



Trigger String  
Neighbor String



圖 10a. TRP occurred slowly due to air flow thermal conductivity and low ability store heat

圖 10b. TRP occurred quickly due to high thermal conductivity and low ability store heat

圖 10c. TRP occurred quickly due to liquid wax and wax combustion

圖 10d. TRP was prevent due to phase change absorb thermal runaway energy

# Autopsy

No Thermal Runaway Propagation



Thermal Runaway Propagation



圖 11. TRP autopsy

# 結論

- 為了避免18650鋰電池發生化學不穩定導致熱失控的現象，溫度控制非常重要
- 在PCC、Wax、Graphite、Air在鑽刺測試的情形下只有PCC在相同條件下無熱失控
- 在高電流充電時18650電池溫度容易超過45°C，以Tesla超級充電站標準則會降載25%充電會影響充電速度，固有良好的散熱系統能有效縮短充電時間

# 以電熱棒模擬鋰電池發熱的實驗方法

- 以33支電阻為 $1.2\Omega$ 的電熱棒，並以18650外殼規格製作電熱棒，單數排6支、偶數排5支交錯排列

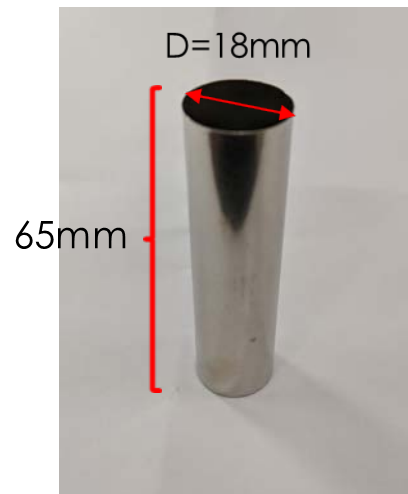


圖12、電熱棒外殼



圖13、電熱棒成品



圖14、電池包實際圖

# 電熱棒的擺置與座標

- 由於電熱棒之間有電阻有些許差異，故以電源供應器量測個別電熱棒電阻並以自定義座標標示

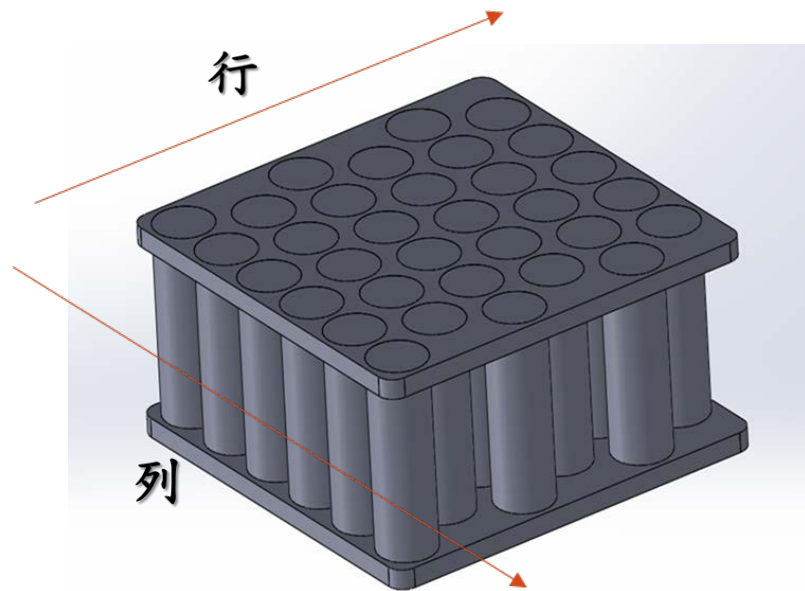


圖15、電池包座標示意圖

列\行	1	2	3	4	5	6
1	1.276 $\Omega$	1.277 $\Omega$	1.283 $\Omega$	1.283 $\Omega$	1.318 $\Omega$	1.296 $\Omega$
2	1.260 $\Omega$	1.271 $\Omega$	1.270 $\Omega$	1.267 $\Omega$	1.278 $\Omega$	1.266 $\Omega$
3	1.266 $\Omega$	1.261 $\Omega$	1.261 $\Omega$	1.261 $\Omega$	1.266 $\Omega$	1.255 $\Omega$
4	1.255 $\Omega$	1.250 $\Omega$	1.250 $\Omega$	1.245 $\Omega$	1.245 $\Omega$	1.245 $\Omega$
5	1.245 $\Omega$	1.245 $\Omega$	1.234 $\Omega$	1.234 $\Omega$	1.234 $\Omega$	1.230 $\Omega$
6	1.230 $\Omega$		1.224 $\Omega$		1.218 $\Omega$	

圖16、電熱棒電阻分布與座標

# 溫度點探測

- 本次實驗將每一支電熱棒採2個溫度點，總共33支電熱棒故擷取66個溫度點，溫度點採計兩個：從電熱棒底部往上25mm稱為下層溫度與電熱棒底部往上45mm稱為上層溫度，並定義擷取溫度的代號為  $T_{up/low, 行列}$

EX：第2行第3列上層溫度為40°C標示為  $T_{up,23} = 40^{\circ}\text{C}$

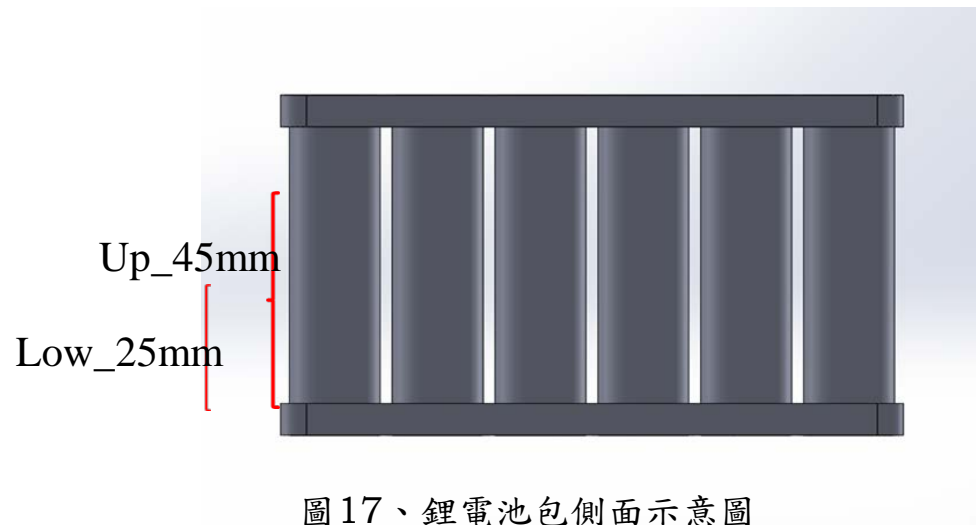


圖17、鋰電池包側面示意圖



圖18、探針式熱電偶實裝圖



# 脈衝式熱管環路均溫原理

- 傳統熱管分三部分：蒸發部、冷凝部、絕熱部。脈衝式熱管也同樣包含這三個部分，但是脈衝式熱管是包含許多彎折部份的彎管，並且因為管徑達毛細尺度，內部沒有任何毛細結構，大幅降低製造成本。
- 毛細管尺寸主要目的是讓工作流體藉由表面張力，使工作流體分布在在管內形成氣體與液體相連的狀況。
- 當蒸發端的蒸氣塊壓力變大時，會壓縮冷凝端的氣塊壓力減少，在脈衝熱管中，蒸發端與冷凝端兩端壓差會造成蒸氣塊與液體柱的擺盪，造成良好循環做散熱。

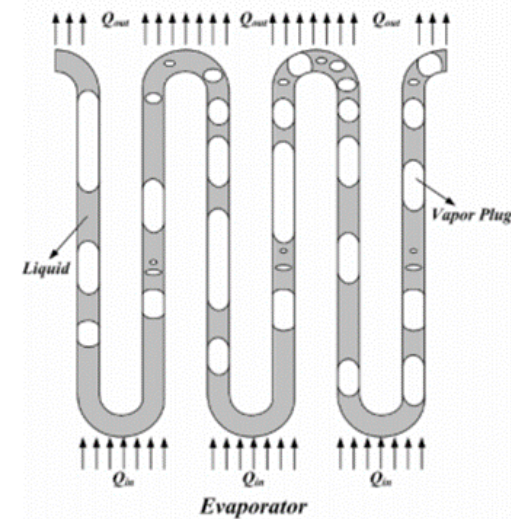


圖19、脈衝式熱管環路運作原理示意圖

# 脈衝式熱管製作

- 以外徑3mm內徑2mm的銅管為PHP本體製作出9彎、蒸發部為60mm、冷凝部為60mm，蒸發部壓扁至2mm(壓扁的目的是增加管內的壓力差促使工作流體能更有效運作)，抽真空灌一定量之工作流體即可



圖20、PHP實際圖

# 均溫度 $\delta$ 的定義

- 本次實驗為了數據化均溫性，故定義均溫度  $\delta\% = \frac{T_i - T_{avg}}{T_{avg}} \times 100\%$

其中  $T_i$  為指定量測點溫度， $T_{avg}$  為環境溫度 = 25 °C

$\delta_{std}$  表示未加入任何元件標準組的均溫度

$\delta_{php}$  表示加入php後的實驗組均溫度

# 實驗數據

# 10W, 上層溫度分布對比

$$2.132\% < \delta_{\text{std}} < 2.528\%$$

10W, 無PHP, 上層溫度分布

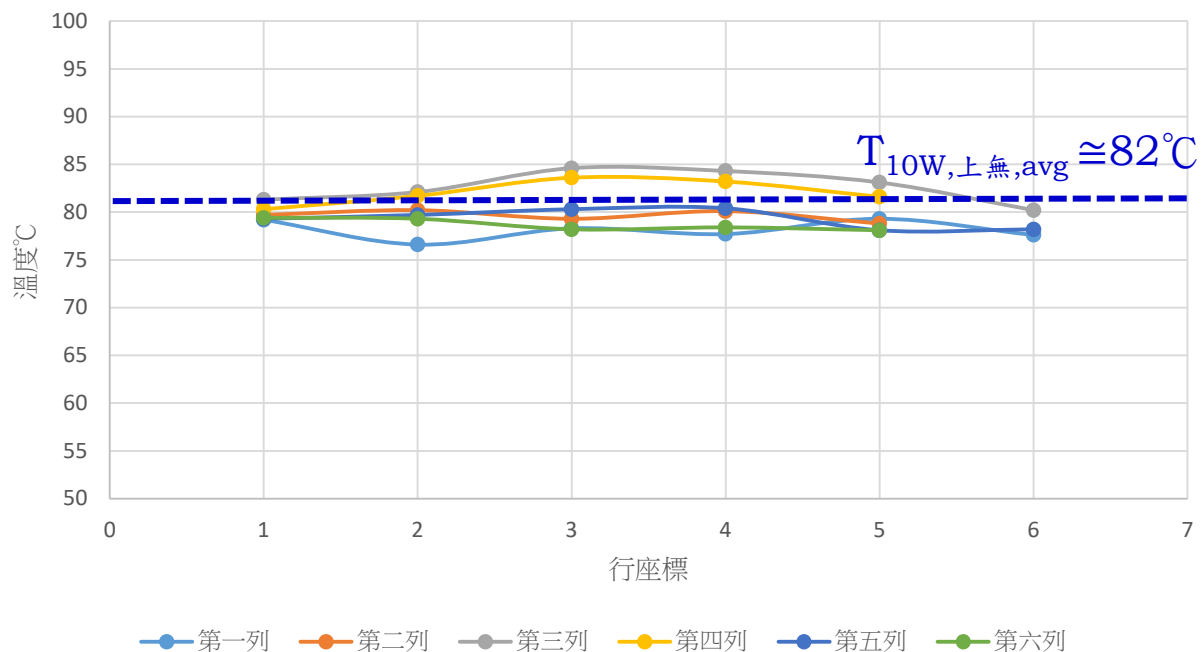


圖21a. 10W, 無PHP, 上層溫度分布對比

$$1.968\% < \delta_{\text{php}} < 2.164\%$$

10W, 有PHP, 上層溫度分布

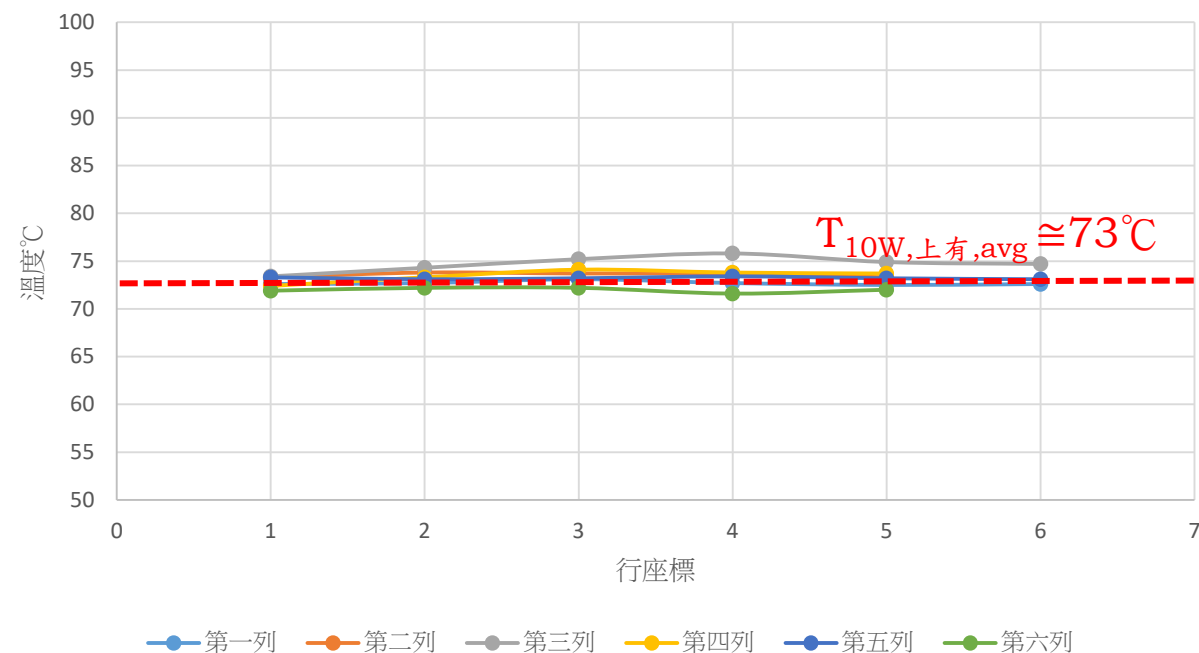


圖21b. 10W, 有PHP, 上層溫度分布對比

# 10W, 下層溫度分布對比

$$2.172\% < \delta_{\text{std}} < 2.624\%$$

10W, 無PHP, 下層溫度分布

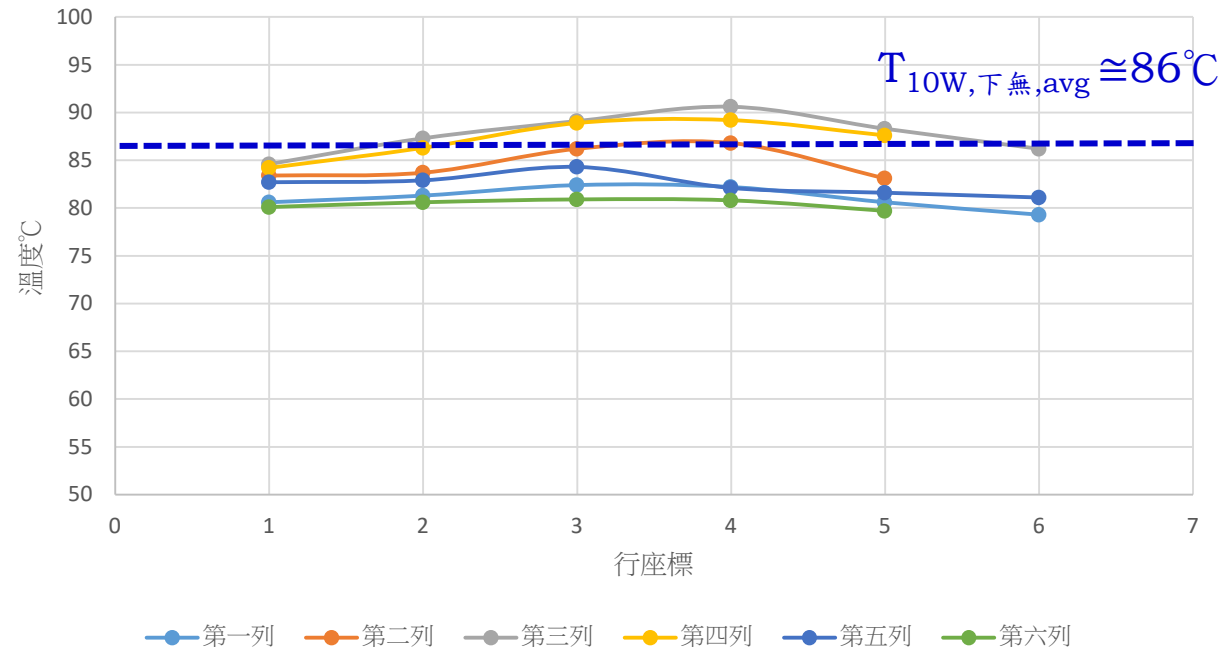


圖22a. 10W, 無PHP, 下層溫度分布對比

$$2.016\% < \delta_{\text{php}} < 2.164\%$$

10W, 有PHP, 下層溫度分布

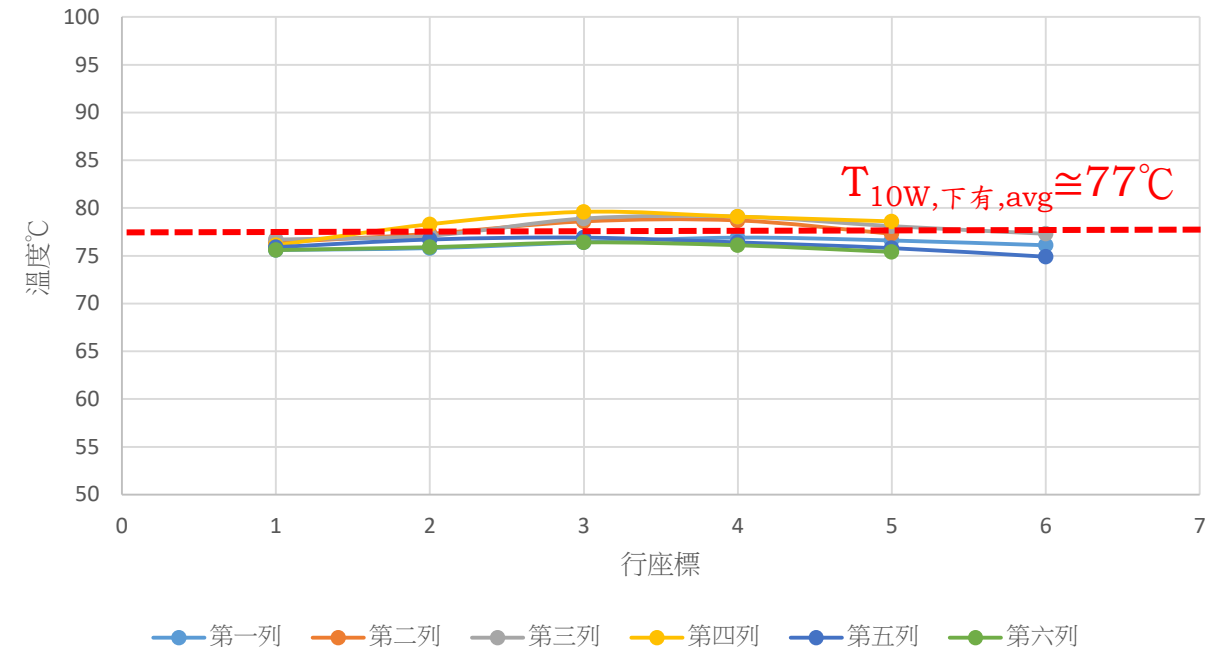


圖22b. 10W, 有PHP, 下層溫度分布對比

# 7W, 上層溫度分布對比

$$1.644\% < \delta_{std} < 1.948\%$$

7W, 無PHP, 上層溫度分布

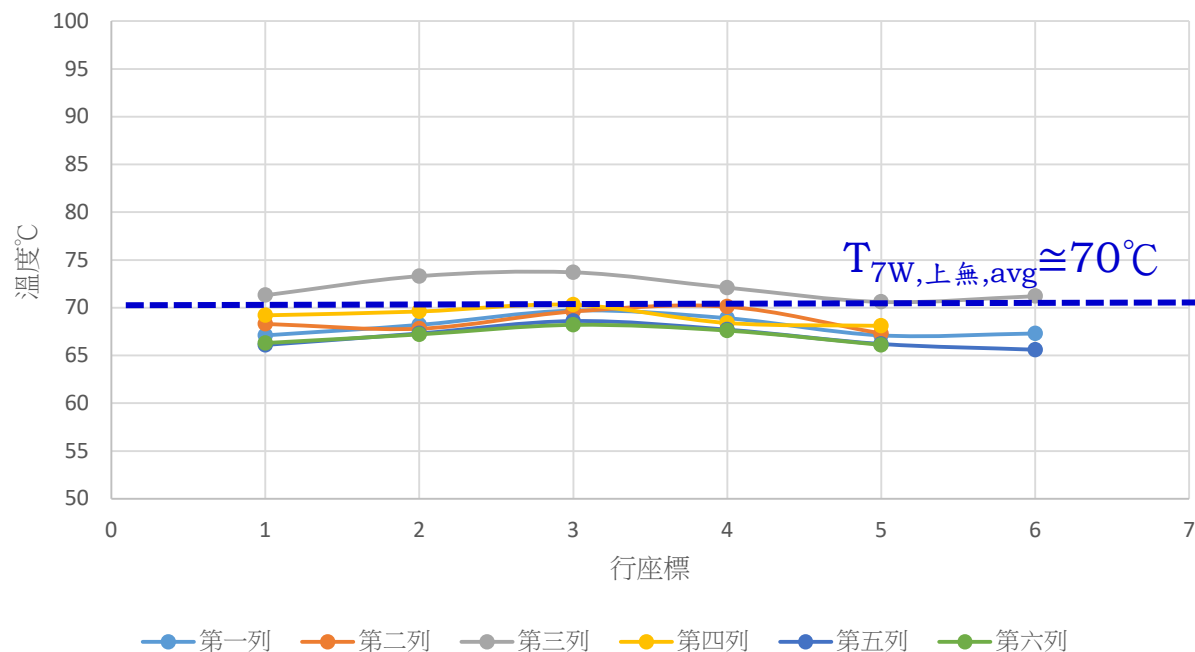


圖23a. 7W, 無PHP, 上層溫度分布對比

$$1.524\% < \delta_{php} < 1.636\%$$

7W, 有PHP, 上層溫度分布

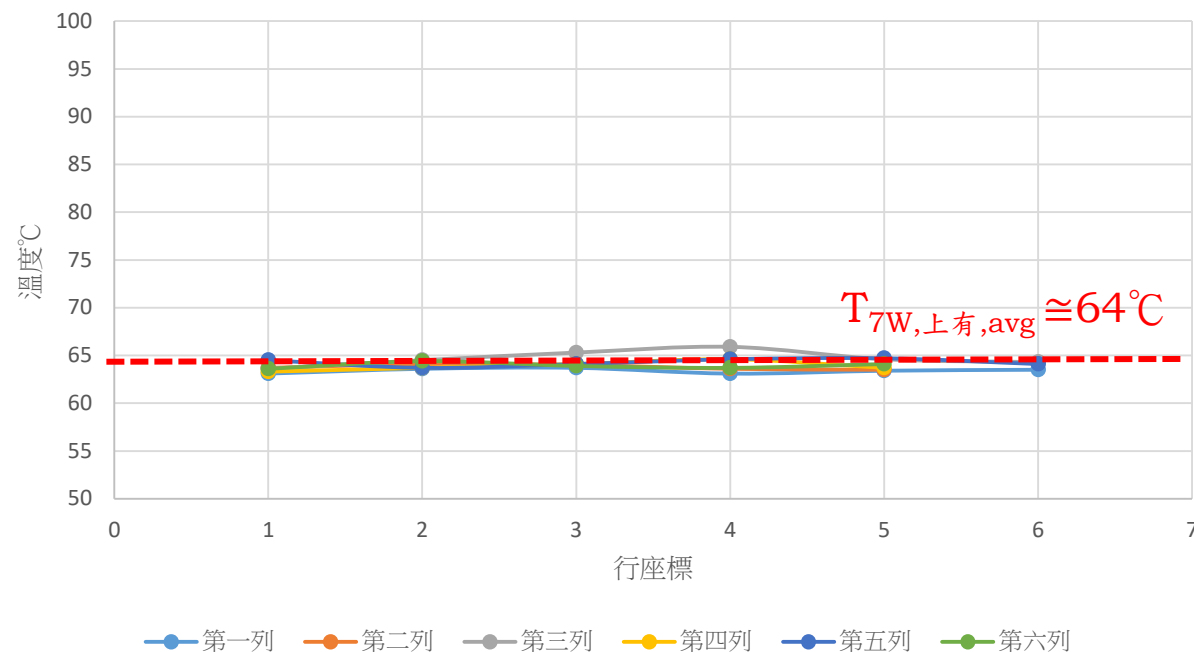


圖23b. 7W, 有PHP, 上層溫度分布對比

# 7W, 下層溫度分布對比

$$1.664\% < \delta_{std} < 1.984\%$$

7W, 無PHP, 下層溫度分布

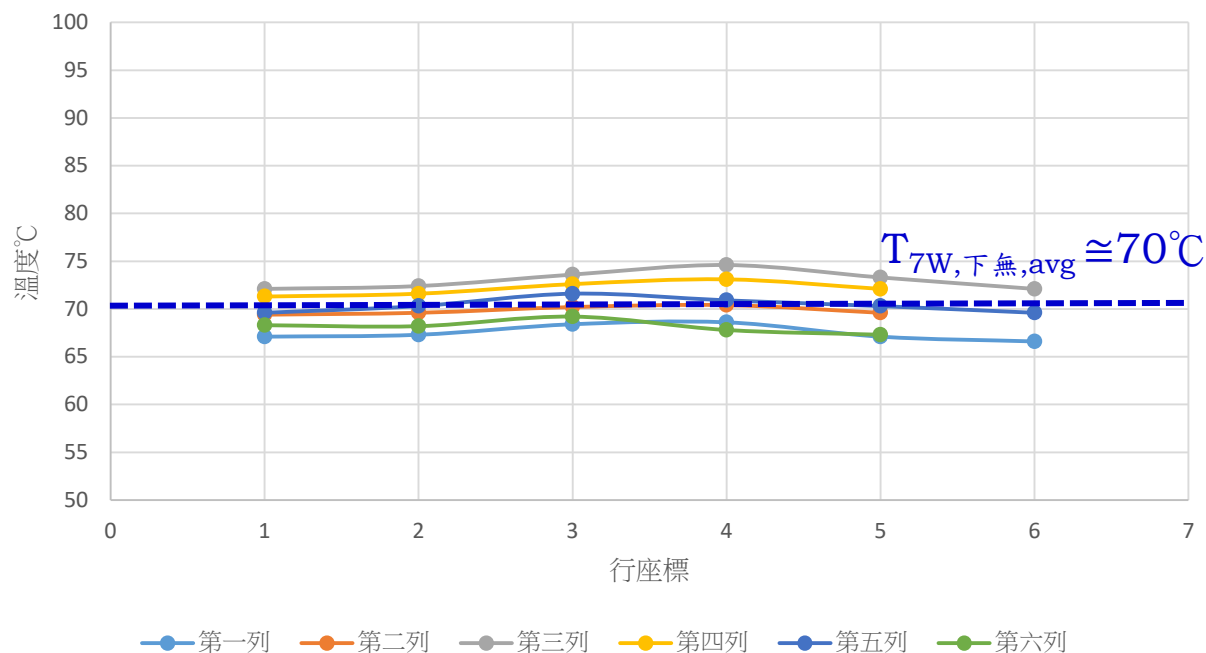


圖24a. 7W, 無PHP, 下層溫度分布對比

$$1.524\% < \delta_{php} < 1.636\%$$

7W, 有PHP, 下層溫度分布

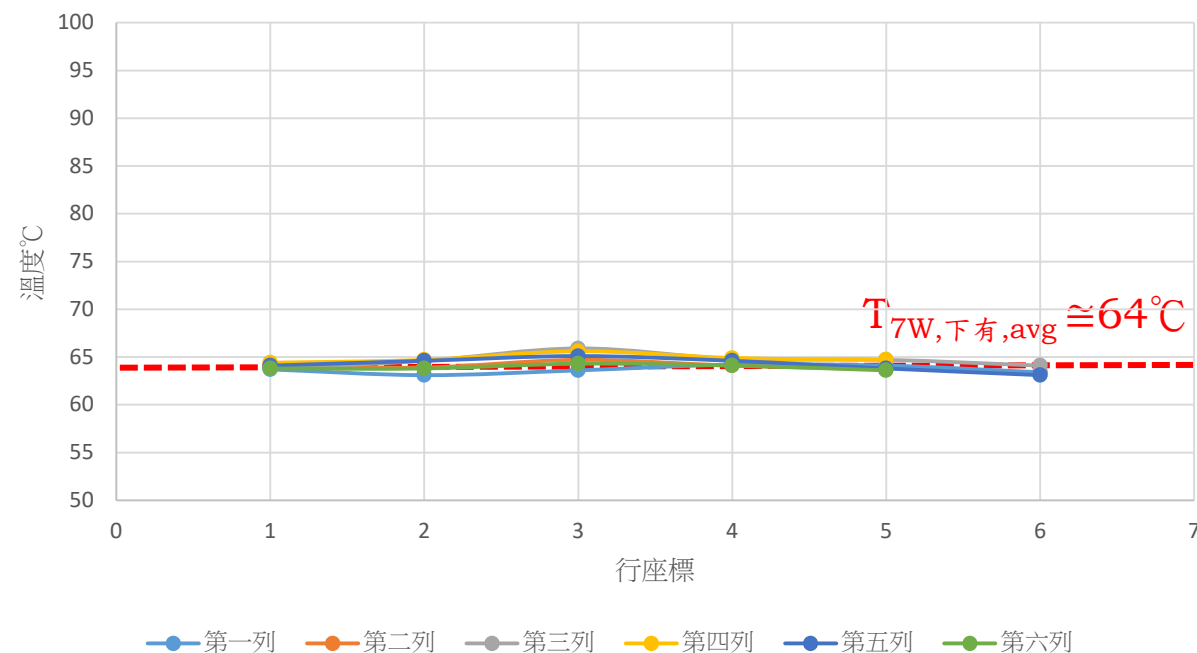


圖24b. 7W, 有PHP, 下層溫度分布對比



# 5W, 上層溫度分布對比

$$0.804\% < \delta_{\text{std}} < 0.984\%$$

5W, 無PHP, 上層溫度分布

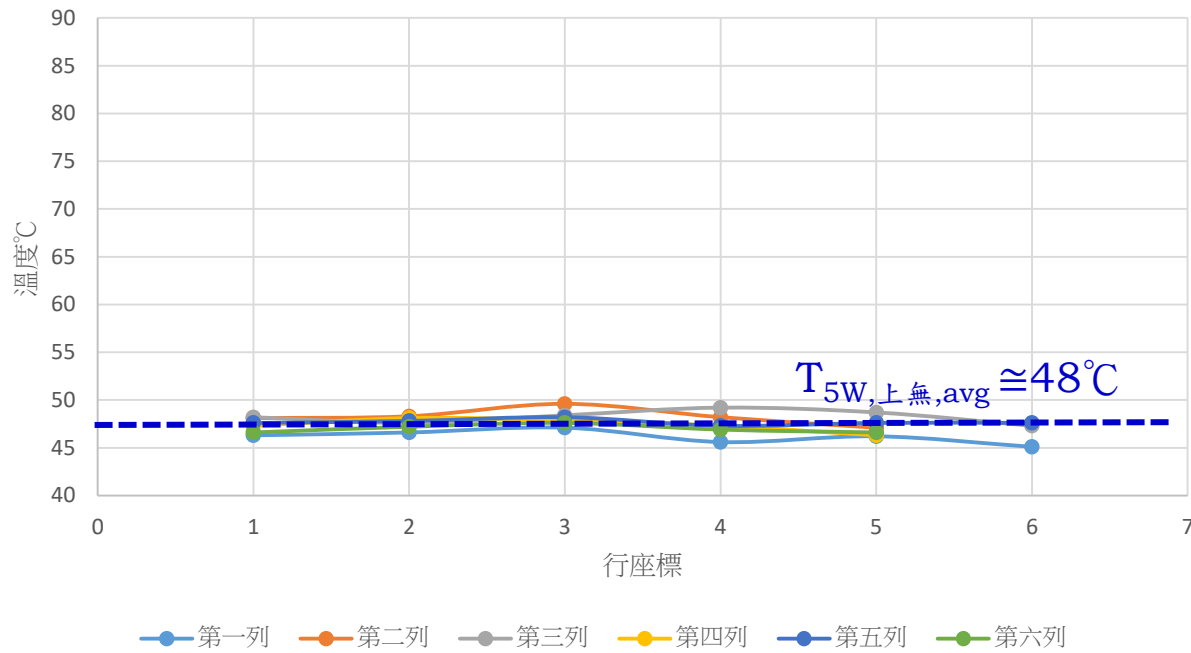


圖25a. 5W, 無PHP, 上層溫度分布對比

$$0.72\% < \delta_{\text{php}} < 0.784\%$$

5W, 有PHP, 上層溫度分布

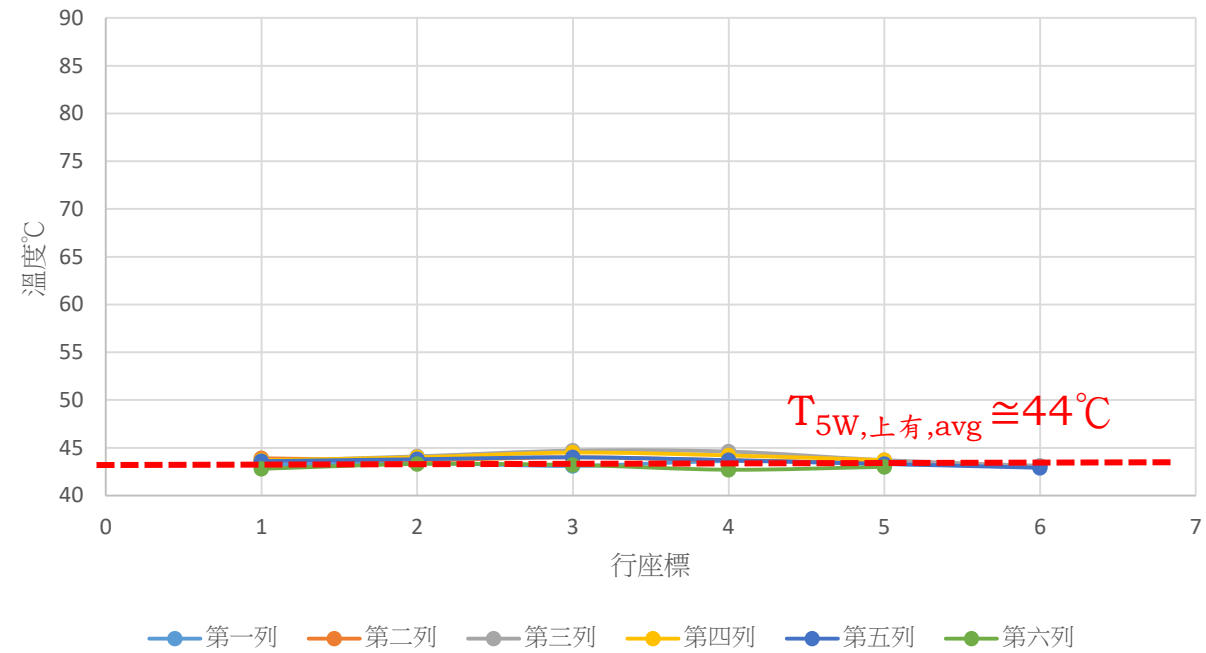


圖25b. 5W, 有PHP, 上層溫度分布對比

# 5W, 下層溫度分布對比

$$0.852\% < \delta_{std} < 1.072\%$$

5W, 無PHP, 下層溫度分布

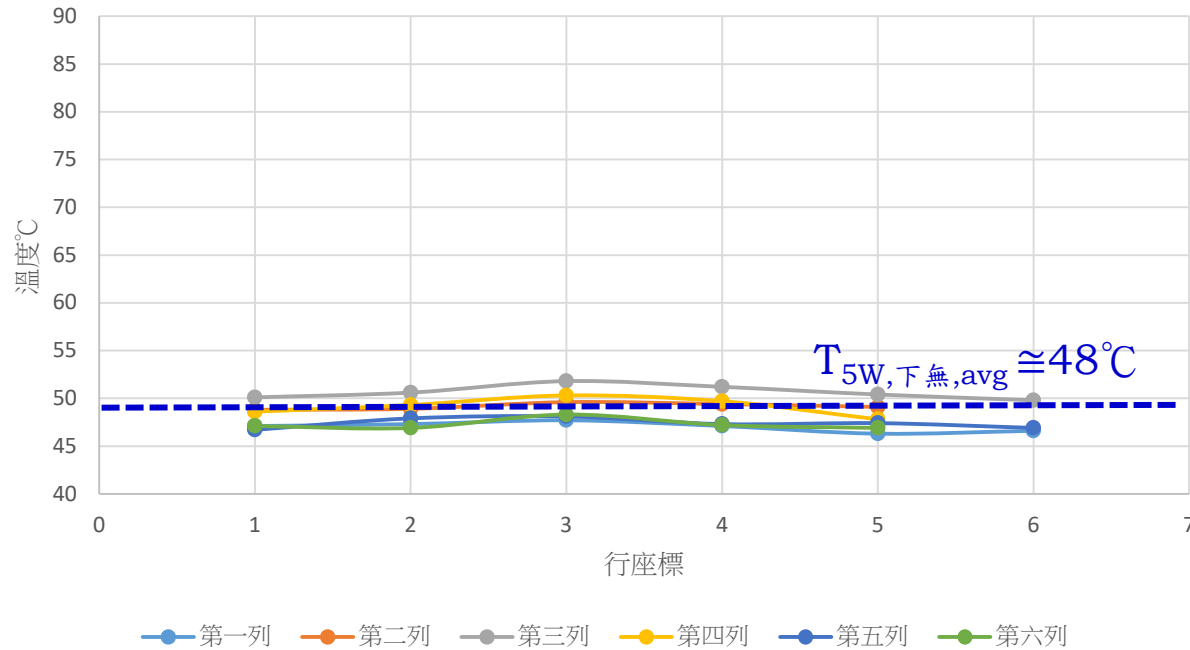


圖26a. 5W, 無PHP, 下層溫度分布對比

$$0.716\% < \delta_{std} < 0.804\%$$

5W, 有PHP, 下層溫度分布

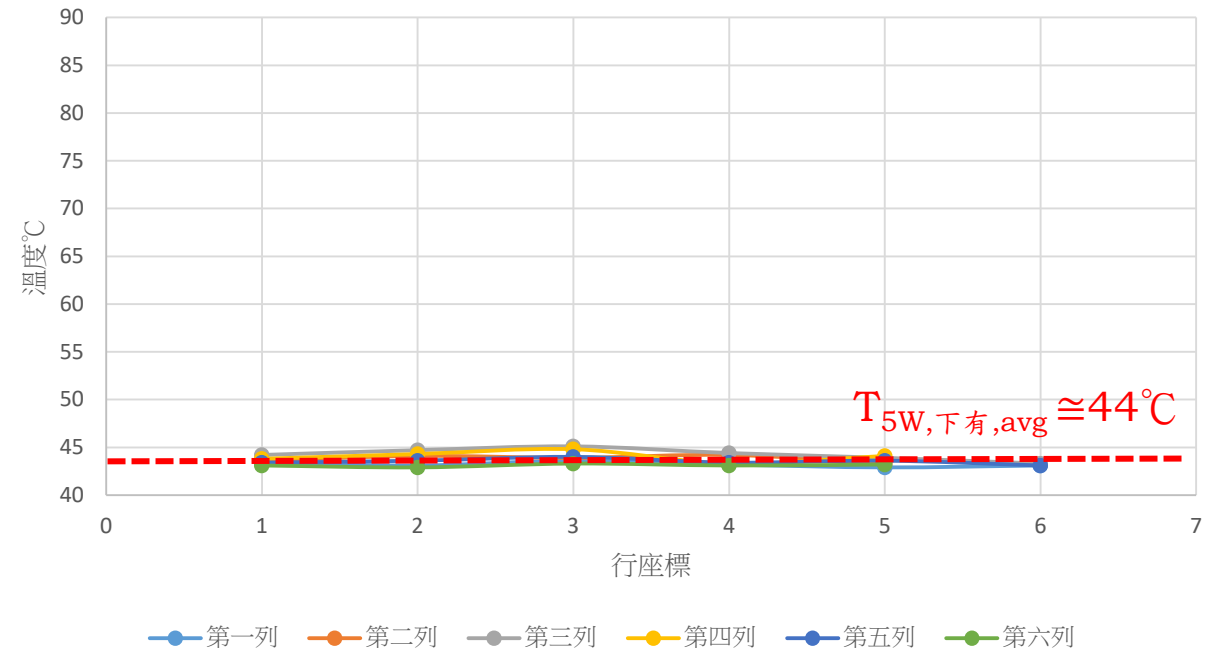


圖26b. 5W, 有PHP, 下層溫度分布對比

# 結果與討論

- ◆ 室溫25°C下，標準組之內部最高溫度 $T_{\max}$  85°C，最低溫77°C，溫差 $\Delta T$ 高達8°C，均溫性 $\delta_{\text{std}}$ 在 $2.23\% < \delta_{\text{std}} < 2.28\%$ ；在相同條件下之比較組最高溫度為79°C，最低溫74°C，溫差降至5°C且總體溫度下降許多，其均溫性 $\delta_{\text{PHP}}$ 在 $1.42\% < \delta_{\text{PHP}} < 1.44\%$ 。
- ◆ 而在比較貼近實際運作溫度的5W，標準組內最高溫51.8°C，最低溫45.1°C，均溫性 $\delta_{\text{std}}$ 在 $0.804\% < \delta_{\text{std}} < 1.072\%$
- ◆ 而加入PHP後最高溫45.1°C，最低溫42.9°C，其均溫性 $\delta_{\text{PHP}}$ 在 $0.716\% < \delta_{\text{std}} < 0.804$  顯示以PHP做為電池包均溫性之裝置效果顯著

**Thank You  
For Your Listening~**

***~THE END~***