

HFSS結合Icepak進行電熱模擬

Jan 2024 安矽思台灣

- ▶ 模擬流程設置
 - 步驟 1. HFSS 中的模型幾何結構
 - 步驟 2. HFSS 中的材料性質審核
 - 步驟 3. 分析 HFSS
 - 步驟 4. 將 HFSS 複製到 Icepak
 - ▶ 步驟 5. Icepak 中的邊界條件設置
 - ▶ 步驟 6. Icepak 網格設置
 - ▶ 步驟 7. Icepak 求解器設置
 - 加入模擬設定
 - ▶ 步驟 8. 監測器設置
 - 步驟 9. Icepak 求解和監測
 - 步驟 10. Icepak 後處理
 - ▶ 步驟 11. HFSS 循環運行
-

HFSS到Icepak的多物理場模擬過程中，主要是為了解決電磁加熱問題和熱流動問題的耦合。這種耦合模擬有幾個重要原因和特點：

1. **電磁加熱的分布**：HFSS是一款用於計算電磁場和電磁效應的模擬軟件。當電磁波穿過物體時，會在物體中產生加熱效應，這種加熱是非均勻的，會在不同位置產生不同的加熱效果。HFSS能夠準確計算這種電磁加熱在設計當中分布狀況。
2. **能量輸入的處理**：Icepak是一款計算流體動力學（CFD）軟件，用於模擬熱流動和散熱問題。在Icepak中，通常將加熱功率作為均勻分佈的輸入。但在與HFSS結合的模擬中，Icepak可以從HFSS讀取局部的電磁加熱數據，並將這些數據應用於其CFD網格上，從而更準確地模擬熱流動。
3. **溫度對電阻率的影響**：在高溫問題中，Icepak可以將穩態溫度分佈反饋給HFSS。由於物質的電阻率會隨溫度變化，這可以使HFSS調整其電阻率計算，進一步增加加熱功率，並與Icepak進行循環計算，直至達到收斂。
4. **一次性與循環耦合**：這種模擬可以是一次性的，即HFSS計算一次電磁加熱後，將數據傳遞給Icepak進行一次溫度場模擬；也可以是循環的，即HFSS和Icepak不斷交換數據，進行多次迭代計算，直到整個系統達到一個穩定的狀態。

通過這種多物理場耦合模擬，工程師可以更準確地瞭解和預測電子設備在實際運行中的熱行為和電磁特性，從而進行更有效的設計和優化。

模擬流程設置

HFSS和Icepak的模型設置和模擬過程可分為幾個主要階段。讓我們逐一解析這些階段：

1. HFSS模型審查：

1. **模型幾何**：審查模型的幾何結構，確保尺寸、形狀和結構對於所需分析是準確的。
2. **材料屬性**：選擇合適的材料並設定其電磁屬性，如介電常數、導電率等。
3. **初始分析**：進行初步的電磁場分析，確認模型設置正確無誤。

2. 單向Icepak熱設置：

1. **幾何和材料復制**：將HFSS模型的幾何結構和材料屬性複製到Icepak。
2. **邊界條件設置**：在Icepak中設置合適的邊界條件，如熱流、熱輻射或對流條件。
3. **網格設置和審查**：在Icepak中創建網格，並進行審查以確保網格質量符合模擬要求。
4. **求解器設置和運行**：設置Icepak的求解器選項，然後進行模擬計算。
5. **後處理**：分析Icepak模擬的結果，例如溫度分佈、熱流動等。

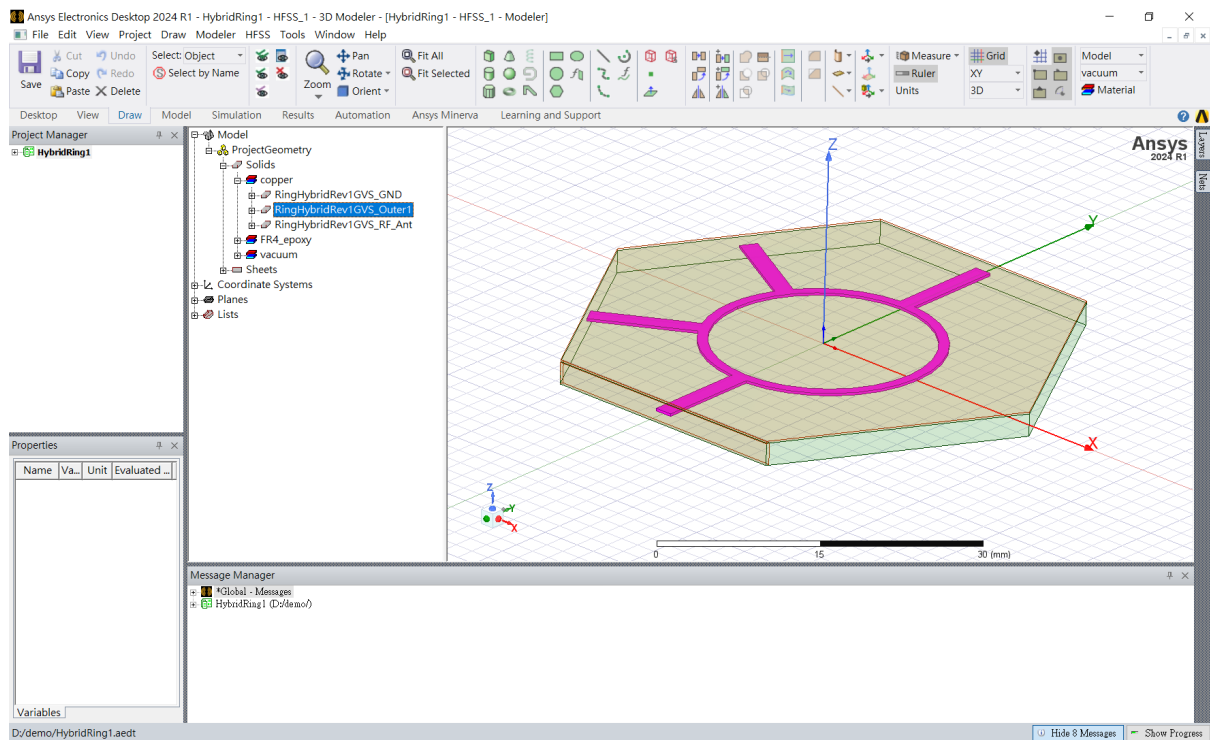
3. 循環多物理場運行的模型更改：

1. **在HFSS中復制和更改設置以進行反饋**：根據Icepak的結果，調整HFSS模型設置，如電阻率變化。
2. **在Icepak中復制和更改連接及求解器**：根據HFSS的新結果，更新Icepak模型的邊界條件和熱源。
3. **分析和後處理**：運行循環耦合模擬，然後分析結果，確保系統達到了預期的物理行為和性能。

在這整個過程中，重要的是要確保HFSS和Icepak之間的數據傳遞準確無誤，並且每次迭代後都要仔細分析結果，以確保模型逐漸接近真實情況。這種循環耦合方法允許對系統的電磁行為和熱行為進行更深入的理解和優化。

步驟 1. HFSS 中的模型幾何結構

- 在 Windows 開始菜單中，找到 ANSYS EM Suite 2024 R1，並啟動 ANSYS Electronics Desktop 2024 R1
- 開始教程，選擇「檔案(File)」並恢復存檔「Restore Archive...」，然後選擇 HybridRing1 檔案
- 如果在「模型歷史樹(Model History Tree)」中選擇了某個對象，其他對象將變成透明，你應該能看到一個類似於此處模型的圖像



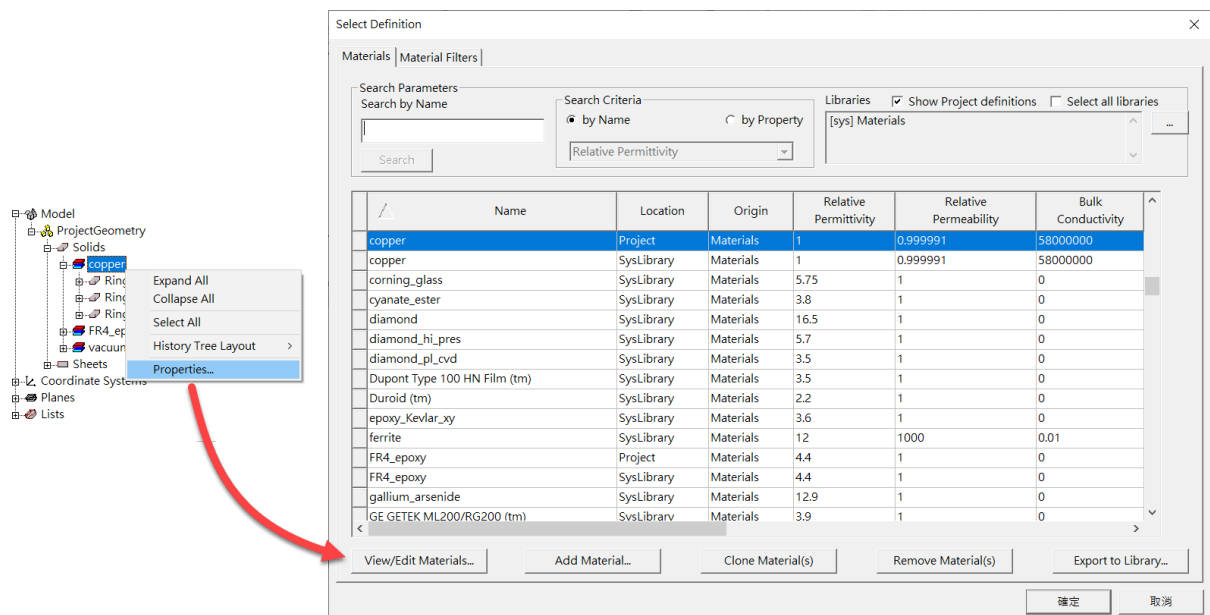
範例檔案HFSS設計

附注：

- 「模型歷史樹」是 HFSS 中的一個功能，用於追蹤和管理模型的變化歷史。
- 「恢復存檔」功能使用者可以加載之前保存的模型設置，以便於教程或復現先前的工作。

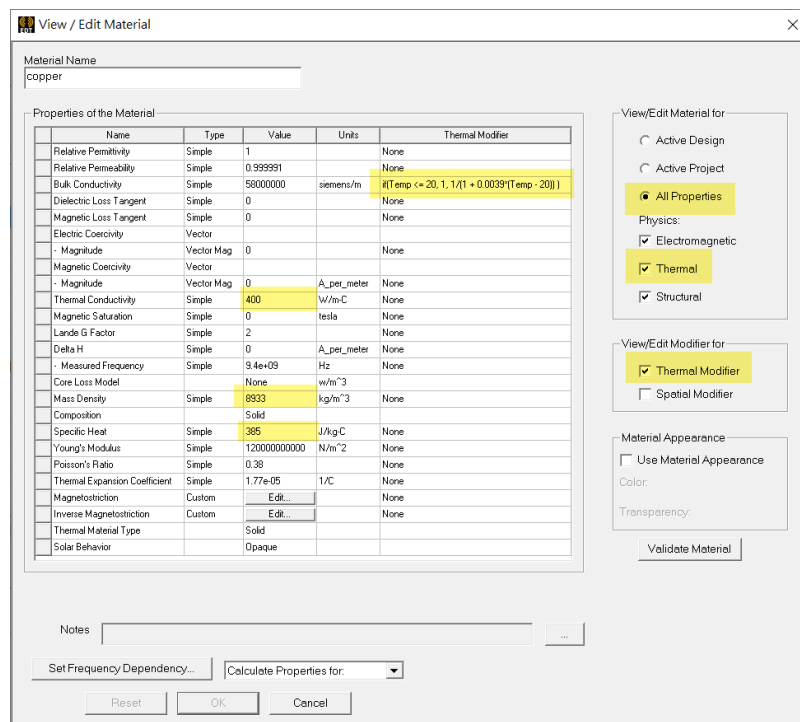
步驟 2. HFSS 中的材料性質審核

- 要進行多物理問題的模擬，需要為創建的材料添加熱材料性質
 - 在模型樹中右鍵點擊銅材料定義，選擇「屬性(Properties...)」
 - 選擇「查看/編輯材料(View/Edit Materials...)」選項以查看所有材料性質



材料資料庫

- 在「查看/編輯材料」面板中，勾選「全部屬性(All Properties)」選項，並確保「熱性質(Thermal)」和「熱修飾器(Thermal Modifier)」選項也被勾選
 - 為了確保溫度反饋功能正常工作，應為帶電金屬添加導電率的熱修飾器，也包括相對介電常數和介質損耗正切的修飾器
 - 注意應設置熱導率、質量密度和比熱等，以進行熱計算



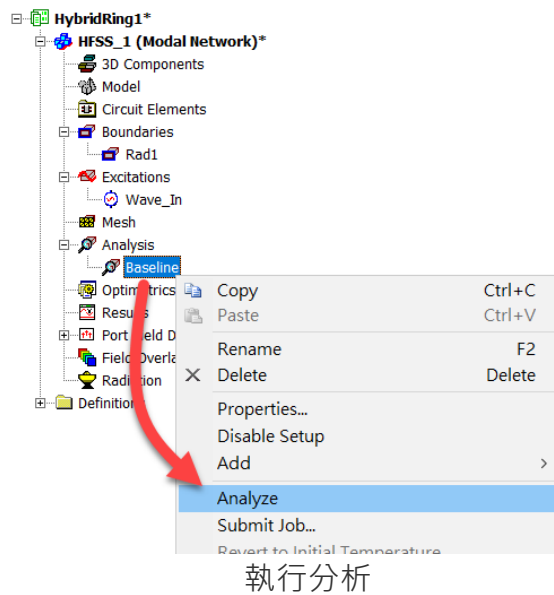
檢視材料參數

附注：

- 「熱修飾器」是指溫度變化對材料行為的影響，例如電導率和介電性質隨溫度的變化。
- 熱導率、質量密度和比熱是Icepak進行熱分析時必須考慮的關鍵物理量。

步驟 3. 分析 HFSS

- 此設計的所有電磁邊界和激勵都已正確設置
- 為了解決在 ANSYS Icepak 中所需的場，請在 HFSS_1 設計的「分析(Analysis)」節點下右鍵點擊「基線(Baseline)」，然後選擇「分析(Analyze)」選項

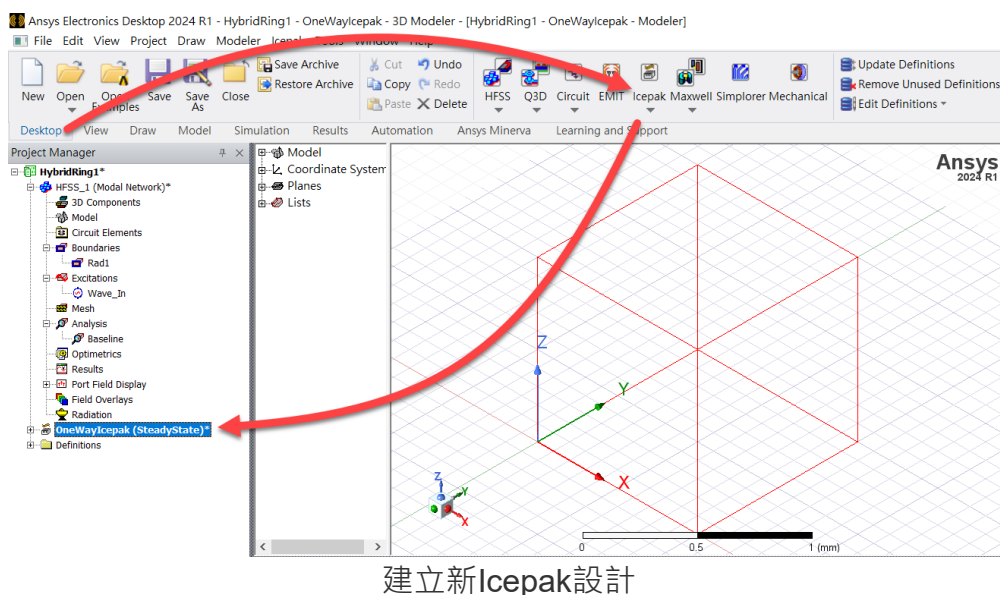


附注：

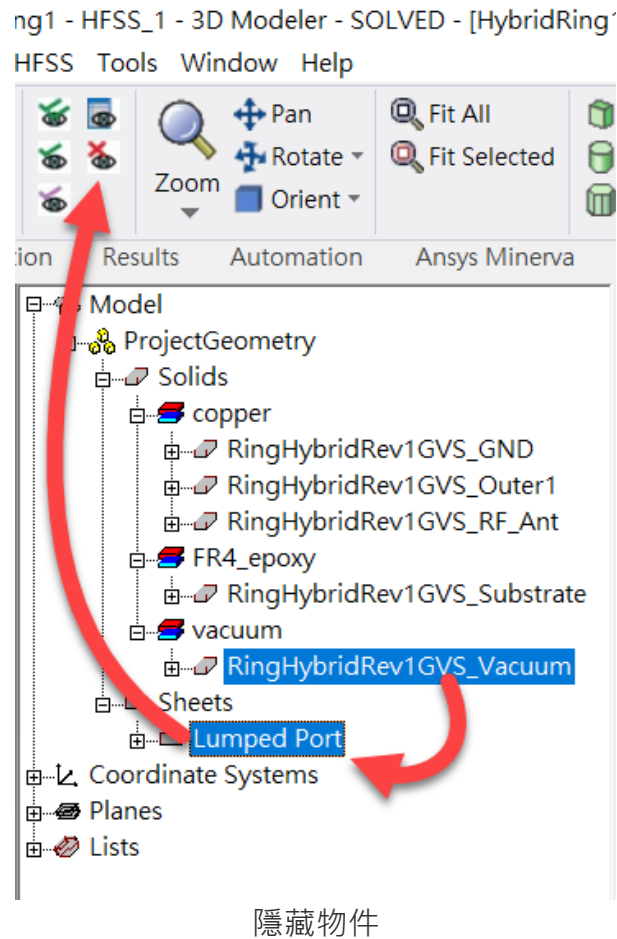
- 在 HFSS 中，正確設置電磁邊界和激勵是確保有效模擬的關鍵步驟。
- 「分析」功能用於計算和評估模型中的電磁場。

步驟 4. 將 HFSS 複製到 Icepak

- 當 HFSS 設置正在分析時，選擇「桌面(Desktop)」標籤，並在您的項目中創建一個新的 Icepak 設計
- 初始項目將是空的，除了一個任意的流體塊
- 在 Icepak 項目上右鍵點擊，並將其重命名為 OneWayIcepak

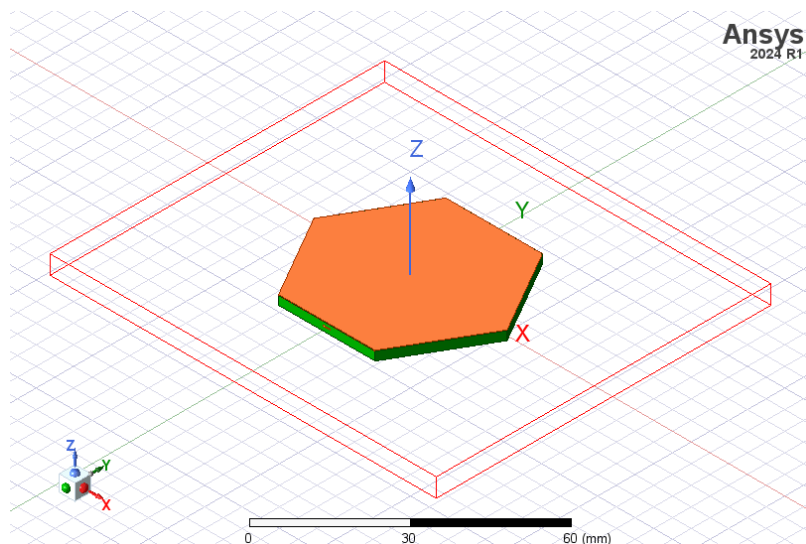


- 雙擊 HFSS_1 設計以重新啟動相關的設計區域窗口
- 選擇 RingHybridRev1GVS_Vacuum 固體和 Lumped Port 工作表
- 當上述項目被選中時，點擊模型樹上方功能區的「隱藏選擇(Hide selection)」圖標來隱藏這兩個對象



附注：

- 「RingHybridRev1GVS_Vacuum」和「Lumped Port」是 HFSS 中需要的元件，但Icepak模擬不需要。選擇並隱藏讓其之後不被複製到Icepak當中。
- 在鍵盤上按 O 進入「對象選擇(Object Selection)」模式，然後按 Ctrl-A (選擇所有對象) 和 Ctrl-C (複製所有對象)
- 返回到 OneWayIcepak 設計 (樹狀圖中雙擊)，點擊模型窗口並按 Ctrl-V (粘貼所有對象)
- 右側應該會出現一個類似的模型



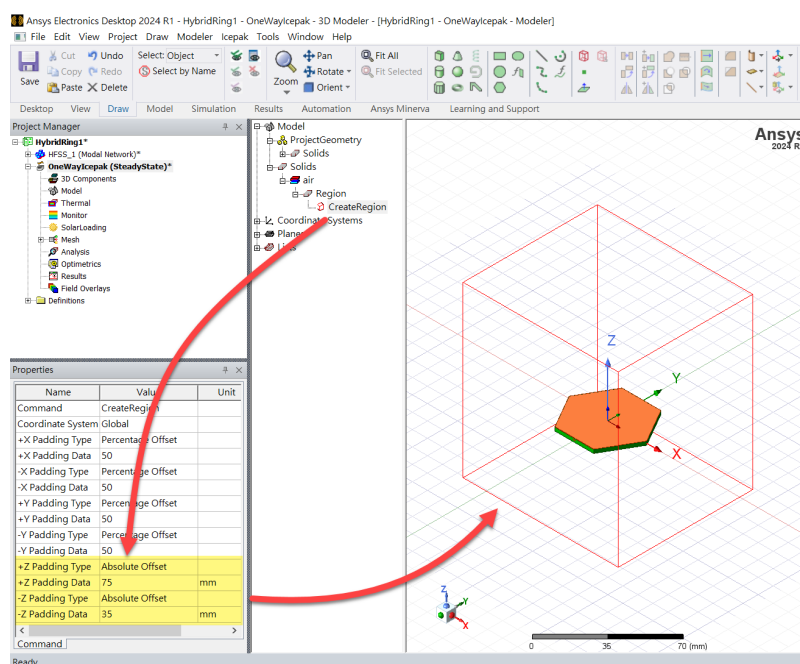
複製到Icepak模型

步驟 5. Icepak 中的邊界條件設置

在 Icepak 中設置合適的邊界條件對於進行準確的熱流模擬至關重要。這些邊界條件包括溫度邊界條件、熱流邊界條件、壓力邊界條件、速度邊界條件、對流邊界條件和輻射邊界條件等。

空氣塊

- 請注意所有幾何體都是帶有在 HFSS_1 設計中輸入的材料性質被複製過來的，這就是為材料庫添加熱性質的原因。
- 流體區域上下沒有留下足夠的網格空氣間隙來處理自然對流問題
- 要進行調整，找到模型歷史樹中的空氣固體並展開選擇 **CreateRegion**，這個區域是基於模型中所有對象的最外層尺寸。
- 垂直於重力方向(X Padding, Y Padding)的 50% 偏移是可以的，但Z Padding不足會影響自然對流模擬準確性。在「屬性(Properties)」窗口中，將 Z 軸填充類型改為「絕對偏移(Absolute Offset)」並在上方添加 75 毫米、下方添加 35 毫米的值，此調整為自然對流的形成增加了空間。



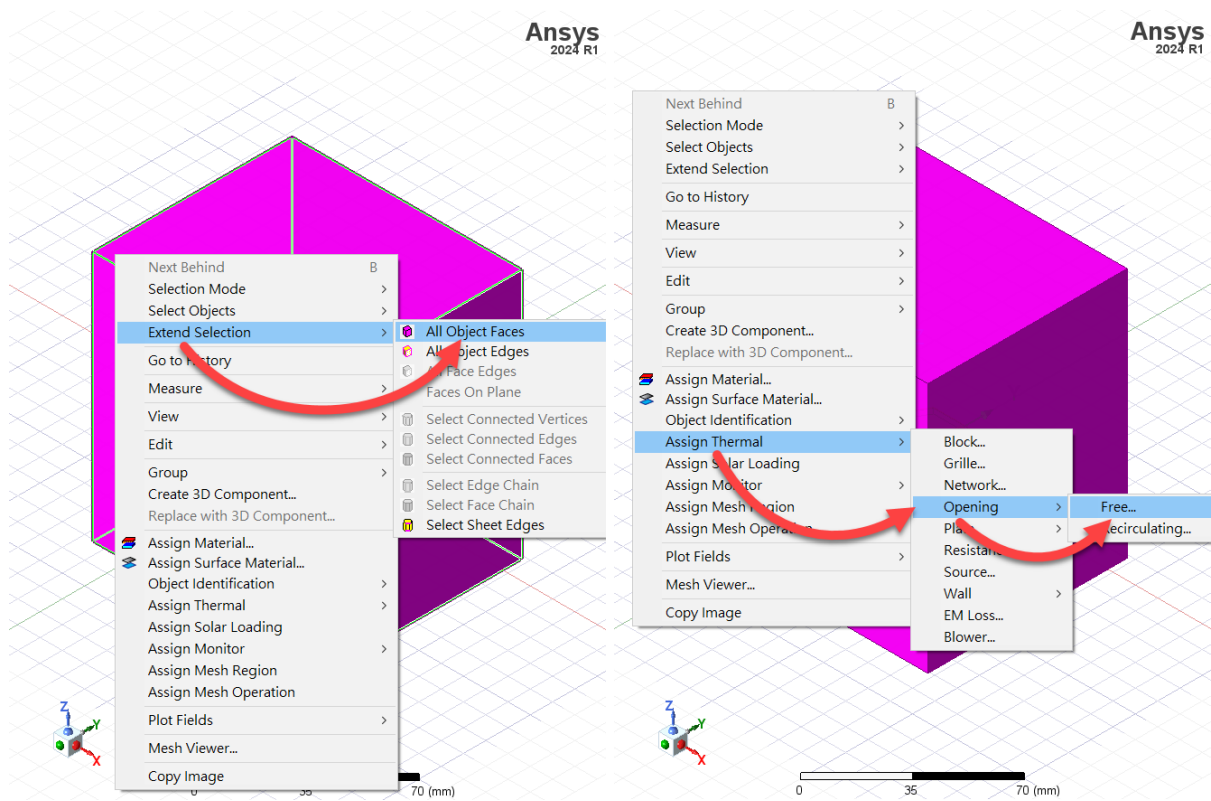
修改空氣盒大小

附注：

- 調整空氣塊的大小和位置是為了確保模擬中有足夠的空間來處理自然對流現象，這在熱分析中是一個重要的考慮因素。
- 「CreateRegion」功能允許用戶定義模擬的空間範圍。

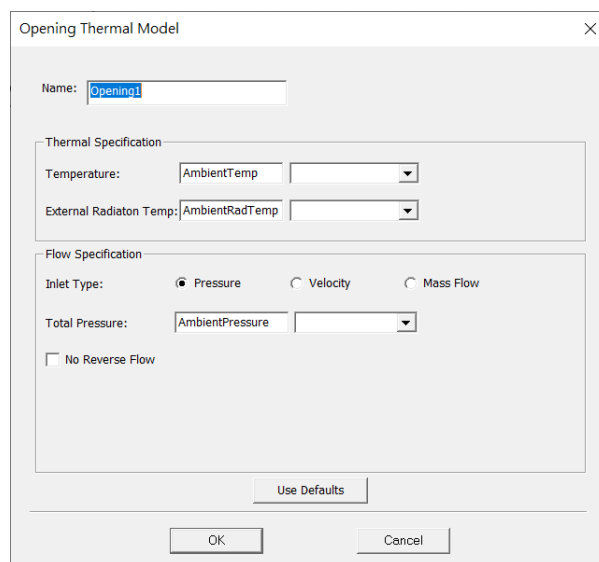
空氣邊界

- 一旦空氣區域大小被調整，選擇空氣所有六個外部面
- 右鍵點擊並選擇「指定熱(Thermal)」>「開口(Opening...)」>「自由(Free...)」



設定空氣盒邊界

- 在彈出窗口中保留所有預設設置
 - 熱開口的預設設置是零壓力
 - 所有進入的空氣均為環境溫度
 - 所有排出的空氣以計算出的溫度離開，且在邊界上無壓力降



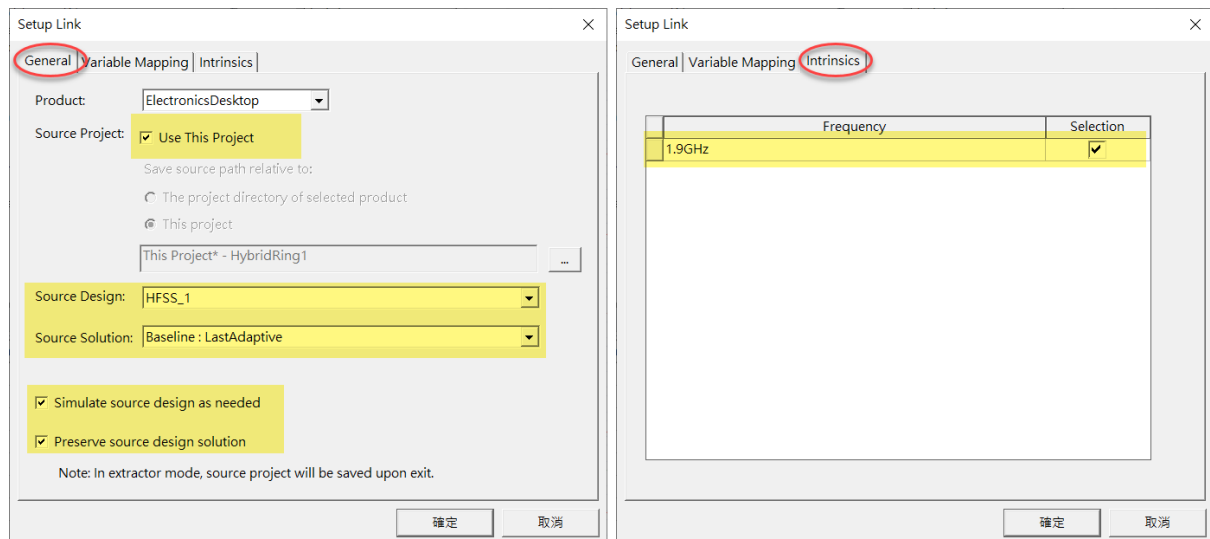
開放邊界設定

附注：

- 預設的「熱開口」設置反映了自然空氣流動的條件，這在處理與環境交互的熱流問題時是必要的。

EM 映射

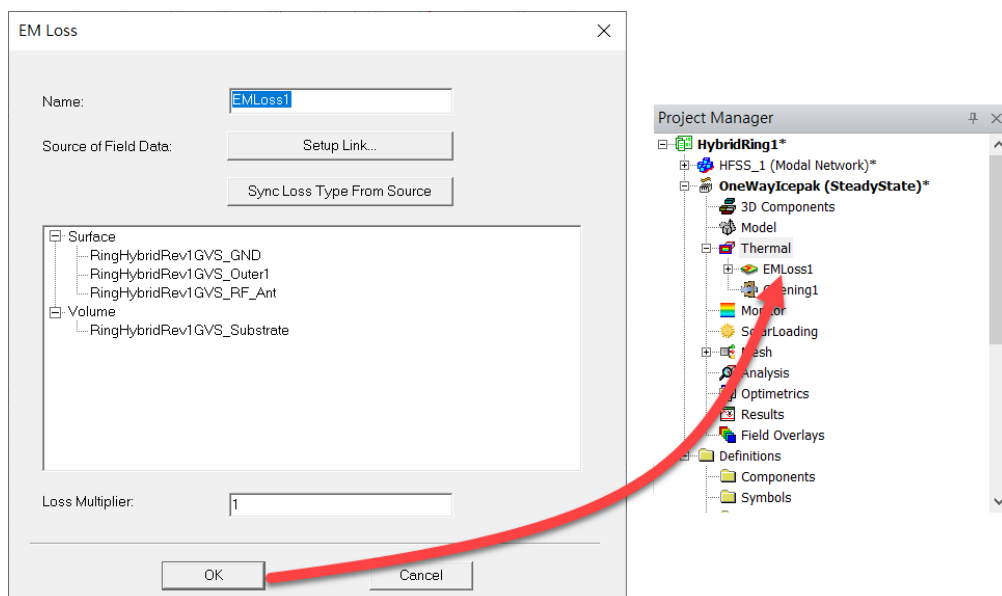
- 按 "O" 鍵切換回「對象 (體) 選擇(Object Selection)」模式
- 框選所有設計對象，右鍵點擊並選擇「指定熱和電磁損耗(Assign Thermal and EM Loss)」
- 在彈出的「設置鏈接(Setup Link)」面板中，勾選「使用此項目(Use This Project)」
 - 這應自動選擇 HFSS 項目，因為它是主項目中唯一的項目
- 選擇「根據需要模擬源設計(Simulate source design as needed)」和「保留源設計解決方案(Preserve source design solution)」
- 在「本徵(Intrinsics)」標籤下，確保頻率設置為 1.9 GHz



設定映射

附注：

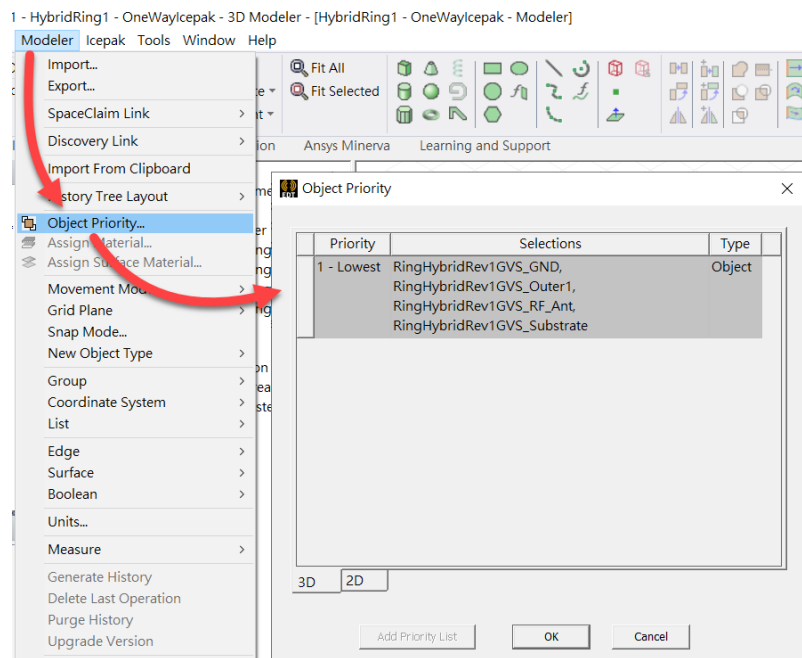
- 在進行熱流和電磁場模擬時，將電磁損耗資料從 HFSS 映射到 Icepak 是關鍵的一步，以確保模擬的準確性。
- 「設置鏈接」面板允許用戶指定模擬數據的來源和如何使用這些數據。
- 確認最終設定，損耗設定會加入到專案當中



步驟 6. Icepak 網格設置

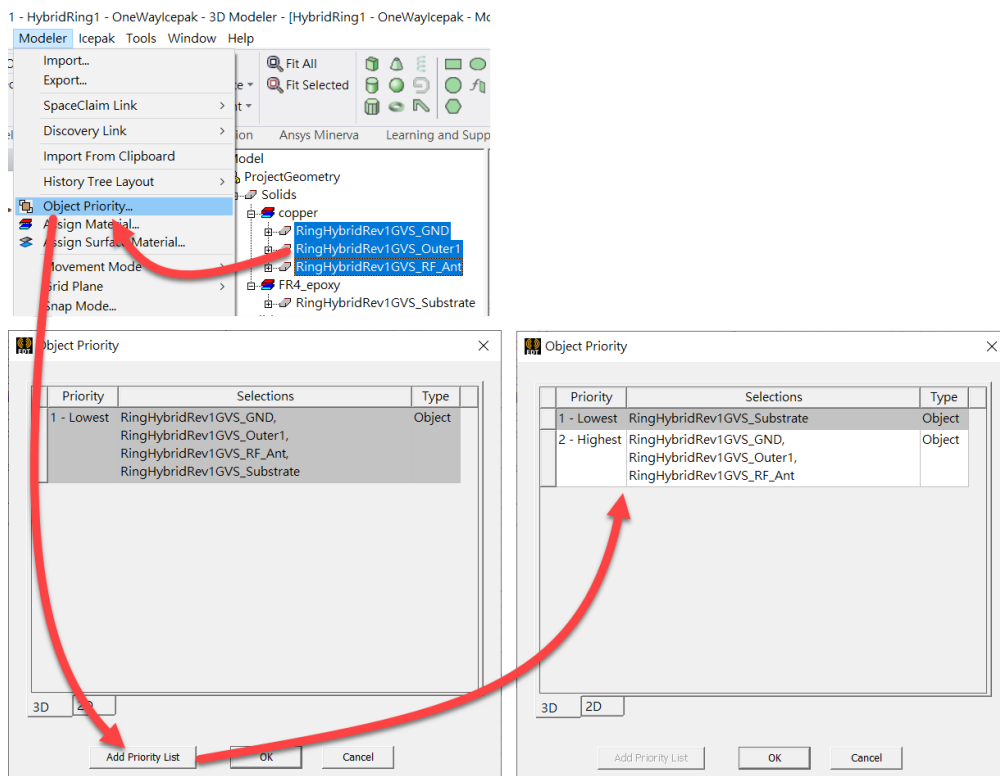
優先級設置

- Icepak 允許重疊幾何體來幫助減少網格中的 CAD 表面，優先級告訴求解器在體積重疊時使用哪個對象的屬性
- 當一個 Icepak 項目被選中時，你可以前往「模型器(Modeler)」->「對象優先級(Object Priority...)」來查看哪些對象具有優先權。最初，所有對象都自動設置為相同



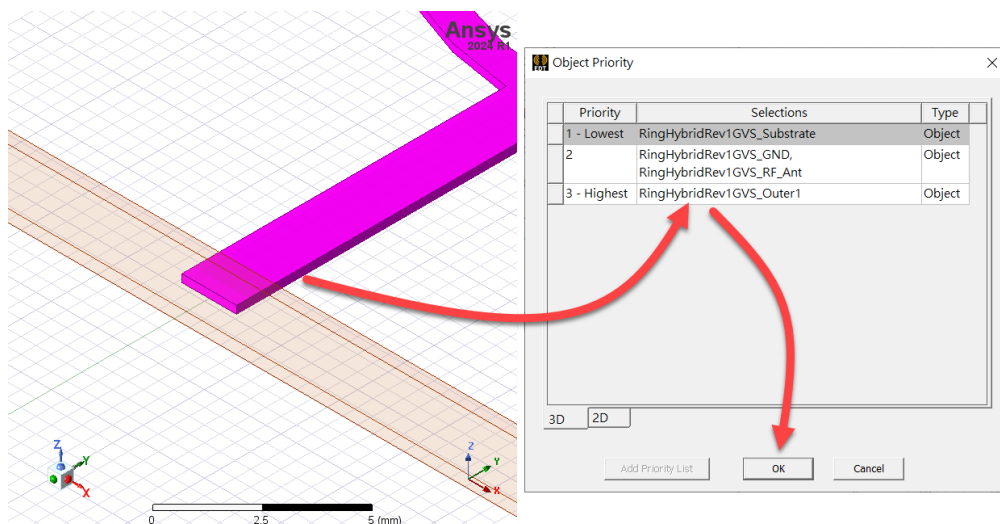
檢視優先權

- 注意：保持彈出窗口開啟以便進行下一節
 - 1 - 選擇銅對象
 - 2 - 從繪圖功能區(Draw ribbon)點擊「對象優先級(Object Priority)」
 - 3 - 當對象被選中時，在「對象優先級」窗口選擇「添加優先級列表(Add Priority List)」，一個二級優先級列表被添加到面板



設置銅優先權

- *Outer1 和 *Ant 部件重疊
- 從模型歷史樹中選擇 RingHybridRev1GVS_Outer1 並在「對象優先級」面板中點擊「添加優先級列表(Add Priority List)」
- 第三個優先級列表被添加，優先級列表稍後可以通過在列表之間拖動來編輯。點擊確定關閉「對象優先級」面板



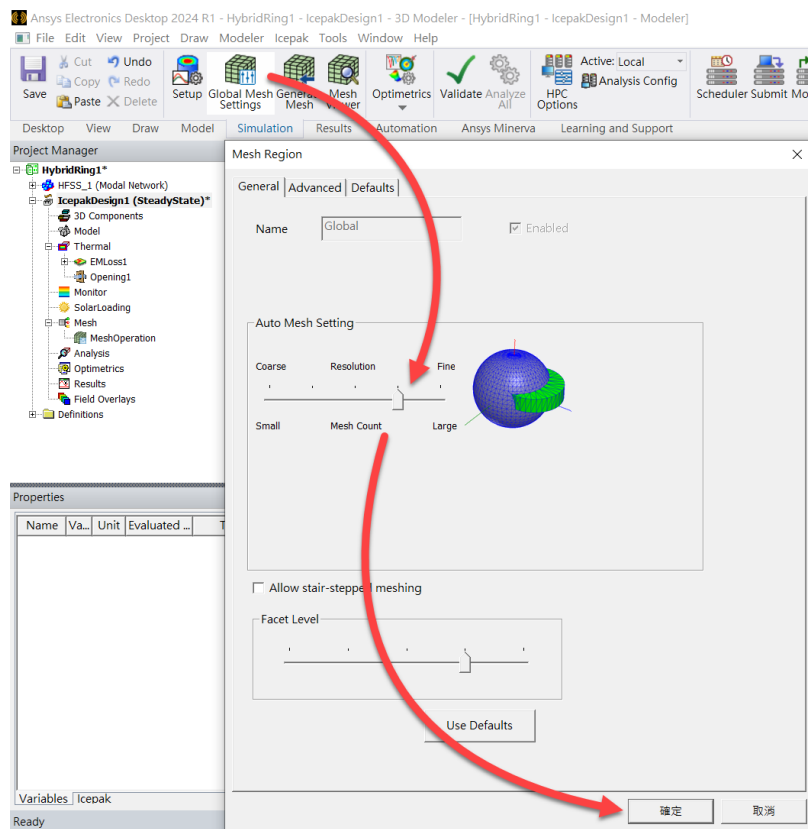
設置物件優先權

附注：

- 在 Icepak 的網格設置中，對重疊幾何體進行優先級排序是確保模擬準確性的重要步驟。
- 「對象優先級」功能允許用戶指定在幾何體重疊時哪些對象的屬性應被優先考慮。
- 正確設置這些優先級對於管理複雜的模型和減少不必要的計算負擔至關重要。

全局網格設置

- 由於這個模型中的幾何體相對基本，我們使用預設的滑動條網格生成器
- 點擊「全局網格設定(Global Mesh Settings)」
- 將滑動條調整到中等偏細(medium-fine)，以更好地捕捉模型中的較薄對象



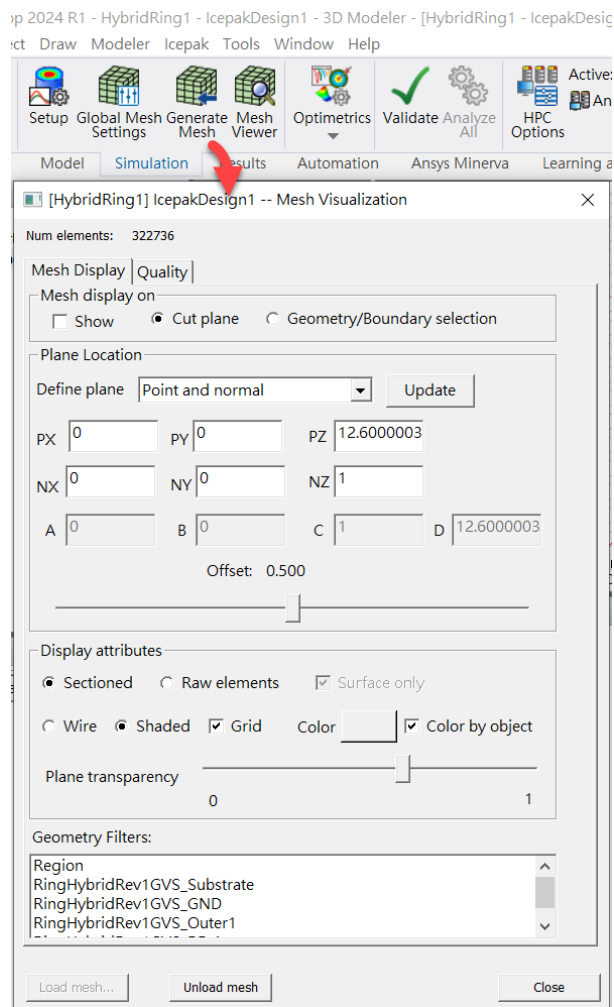
設置全局網格

附注：

- 在 Icepak 的網格設置中，選擇合適的網格精細度是確保模擬結果準確性的關鍵。
- 使用預設的滑動條網格生成器是一種簡便的方式來生成網格，特別是對於幾何結構較為簡單的模型。
- 「進階」選項提供了更多自定義網格設置的可能性，這在處理更複雜或特殊要求的模型時非常有用。

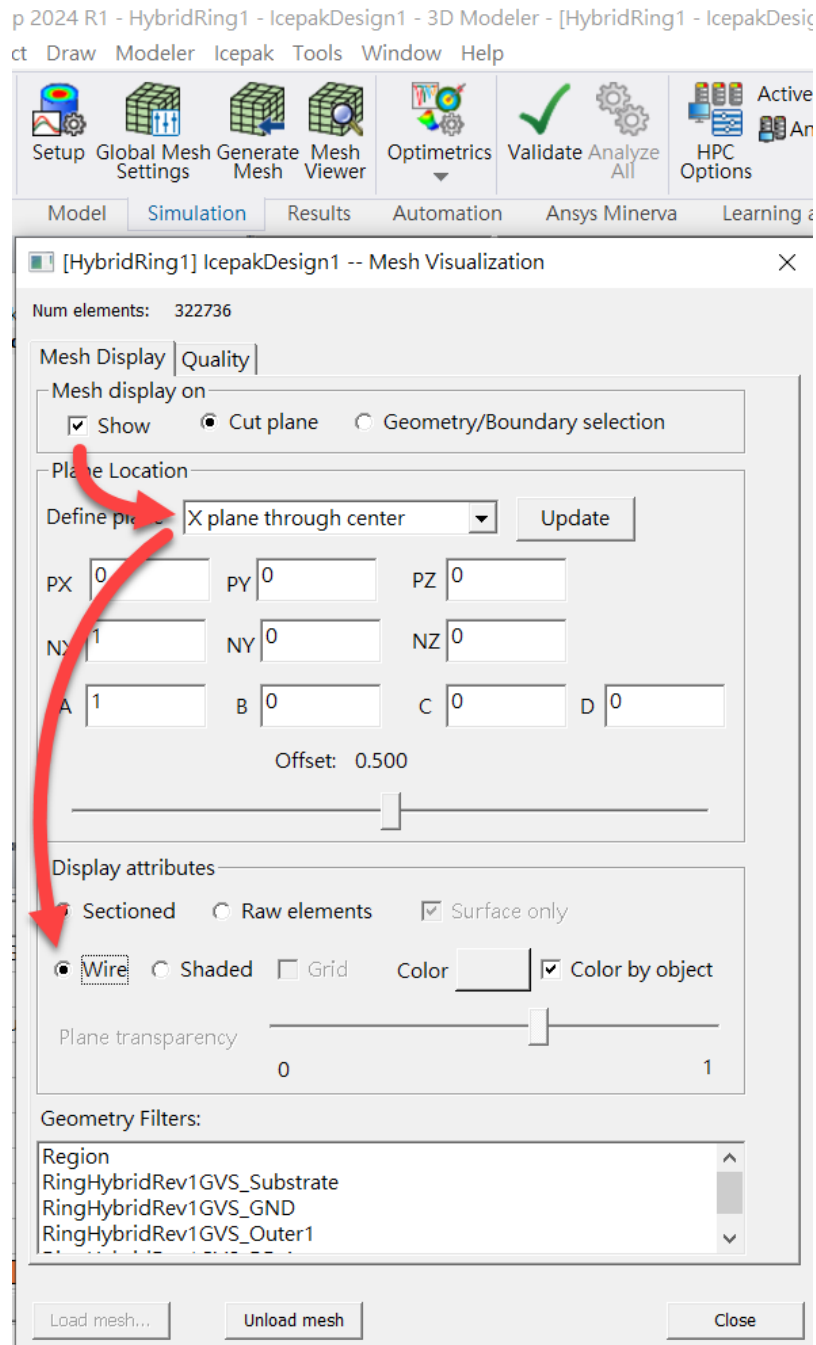
生成網格

- CFD (計算流體動力學) 網格通常在求解前創建和細化
- 設置完成後，點擊「生成網格(Generate Mesh)」
- 一旦網格生成器停止 (無錯誤)，網格查看器面板應該會出現在屏幕上，如此處所見



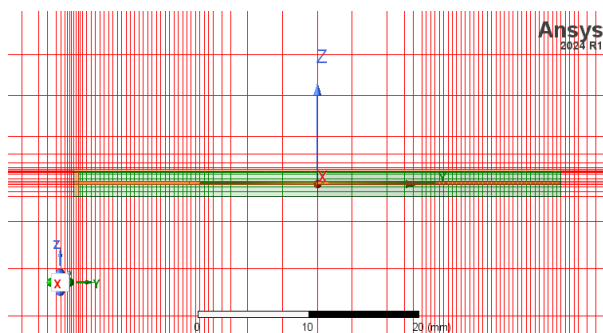
生成網格

- 在網格查看器中，檢查「顯示(Show)」選項，並確保選中了「切割平面(Cut plane)」
- 在「定義平面(Define plane)」下拉列表中，選擇「穿過中心的 X 平面(X plane through center)」



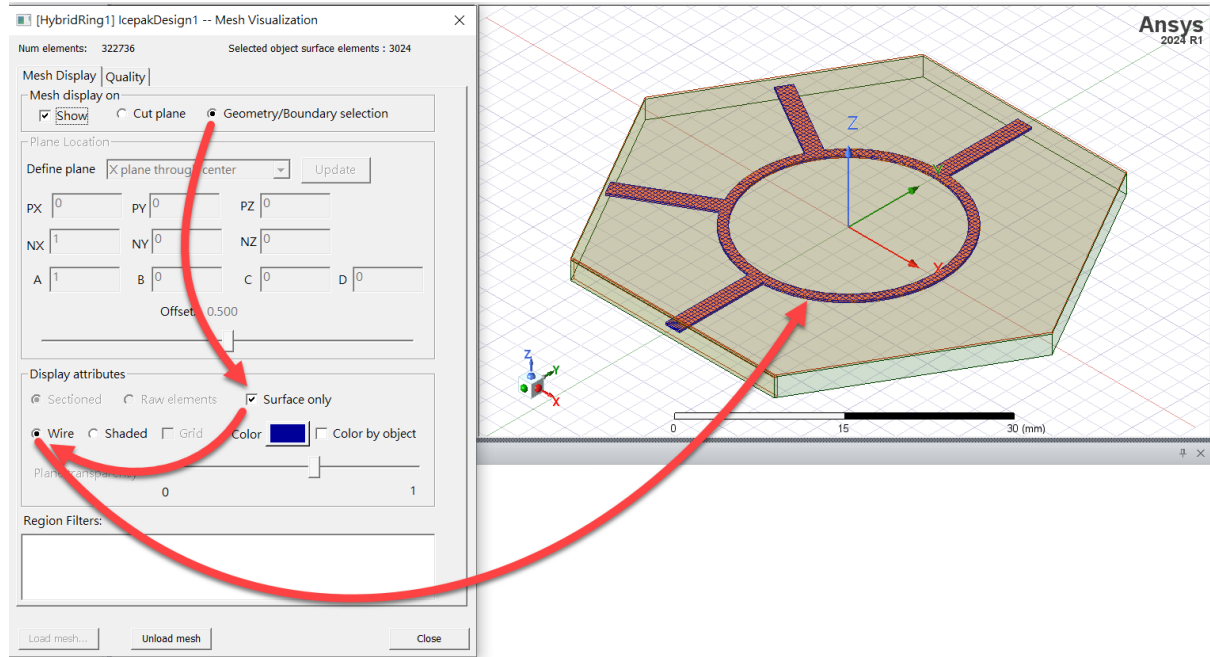
設定網格檢視

- 將模型轉動，使你看向 YZ 平面「定向 -> 前面(-X)」，你應該會看到一個類似下方的圖像，你可能需要在面板中切換到「線框(Wire)」選項來獲得準確的圖像



檢視剖面網格

- 要查看單個對象，選擇樹或窗口中的對象，並在網格可視化面板中切換到「幾何/邊界選擇 (Geometry/Boundary)」選項



檢視物件表面網格

附注：

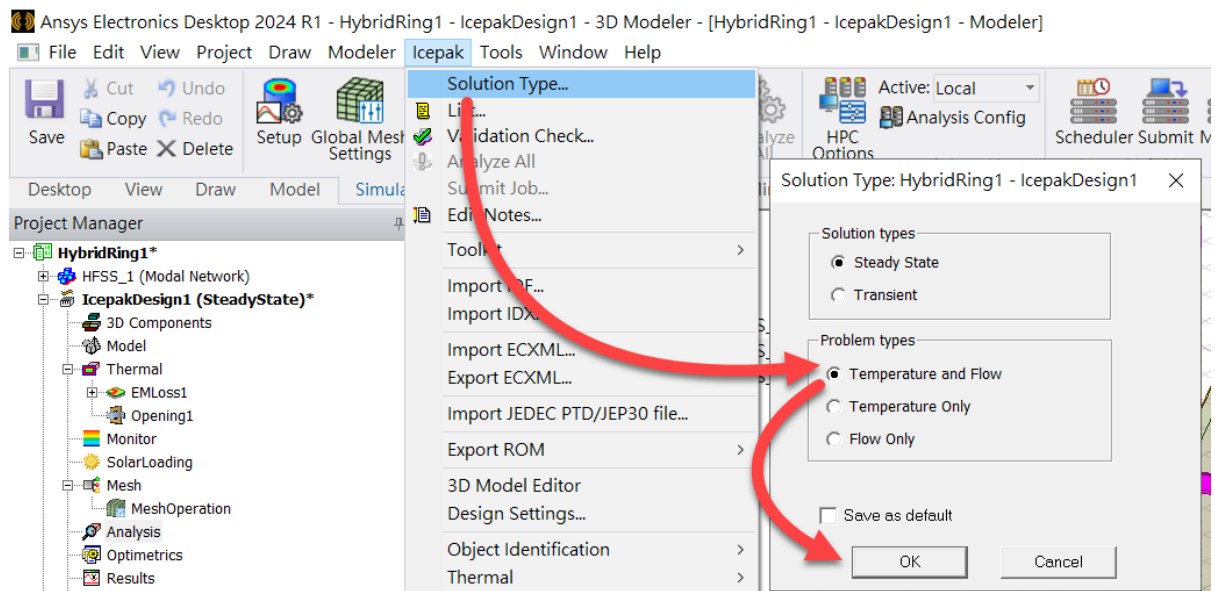
- 在 CFD 模擬中，網格的質量直接影響到求解的準確性和效率。
- 使用網格查看器可以幫助用戶檢查和評估網格的質量，特別是對於複雜幾何形狀的模型。

步驟 7. Icepak 求解器設置

要計算項目中的正確 CFD 和熱方程式，需要多個設置

解決類型

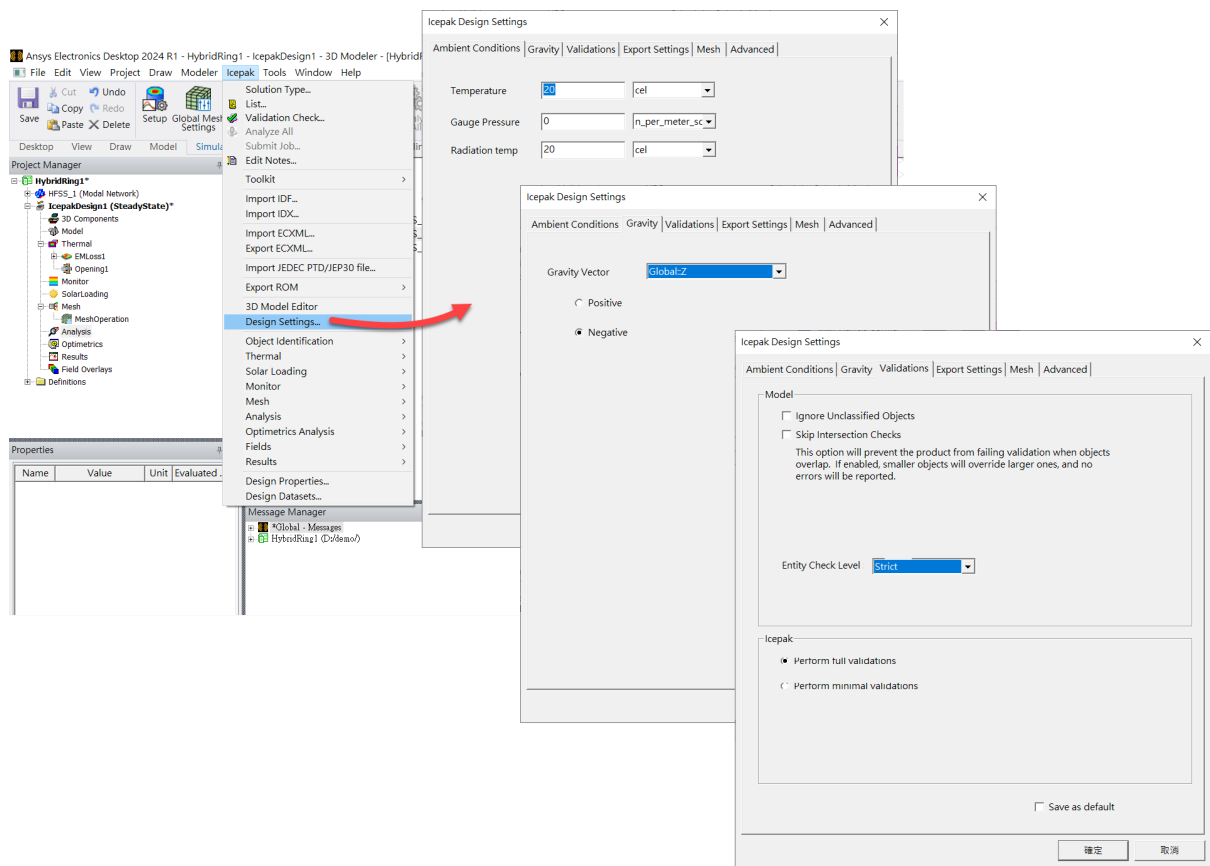
- 選擇「解決類型(Solution Type...)」
 - 預設設置是同時解決溫度和流動(Temperature and Flow)
 - 如果你不打算運行僅流動或僅導熱問題，在大多數模型上無需勾選此項
- 點擊 OK 關閉彈出窗口



設定解決類型

設計設置

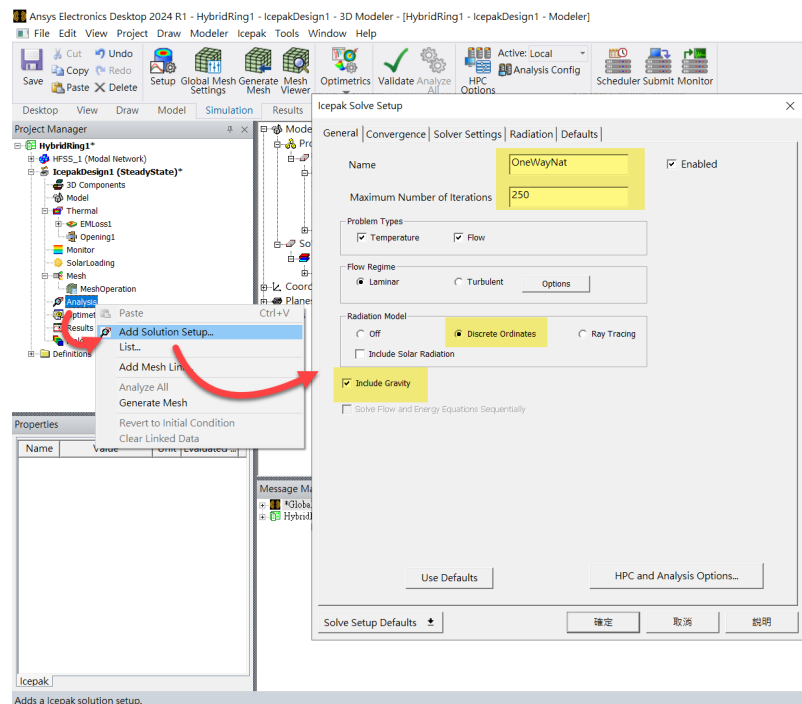
- 選擇「設計設置(Design Settings...)」
 - 第一個標籤是「環境條件(Ambient Conditions)」
 - 這裡你可以改變所有進入系統的默認流體的溫度
 - 對於這個項目，我們將保留 20°C 作為環境條件
 - 自然對流流動的重要因素「重力向量方向(Gravity Vector direction)」可以在「重力(Gravity)」標籤中更改
 - 對於此模型，重力在負全局 Z 方向是正確的，無需改變
 - 如果你想在運行前驗證你的模型，這些可以在「驗證(Validations)」標籤下設置
 - 選擇 OK 關閉「Icepak 設計設置」窗口



設計設置

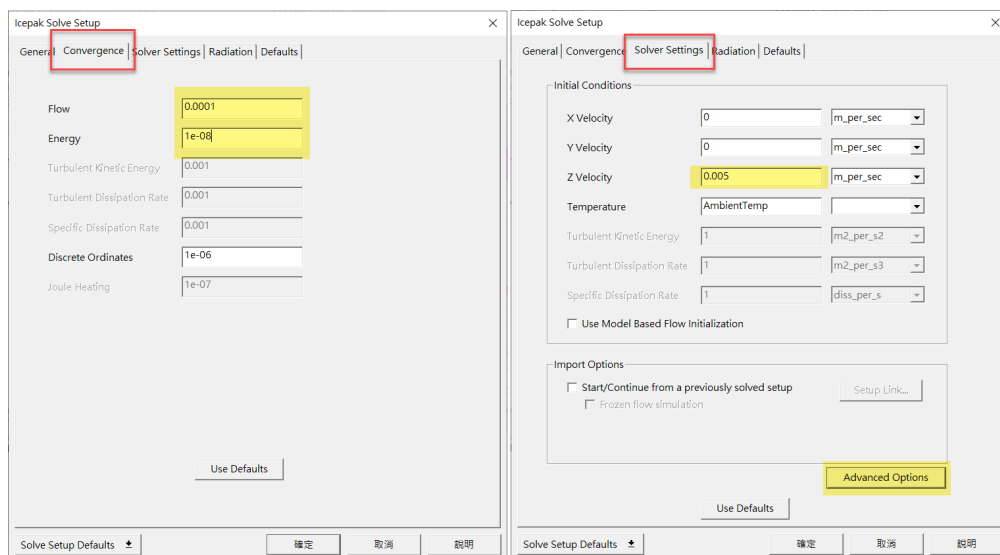
加入模擬設定

- 在 Icepak 設計樹中的「分析(Analysis)」節點上右鍵點擊，選擇「添加解決方案設置(Add Solution Setup)」
 - 面板中的第一個標籤是「一般設置(General setup)」
 - 將分析設置命名為「OneWayNat」
 - 將「最大迭代次數(Maximum Number of Iterations)」更改為 250 (本教程設置的較低)
 - 確保問題類型中選中了溫度和流動，並為流動制度選擇了層流
 - 選擇「離散坐標(Discrete Ordinates)」作為輻射模型，並勾選「包括重力(Include Gravity)」框 (自然對流所必需)



加入模擬設定

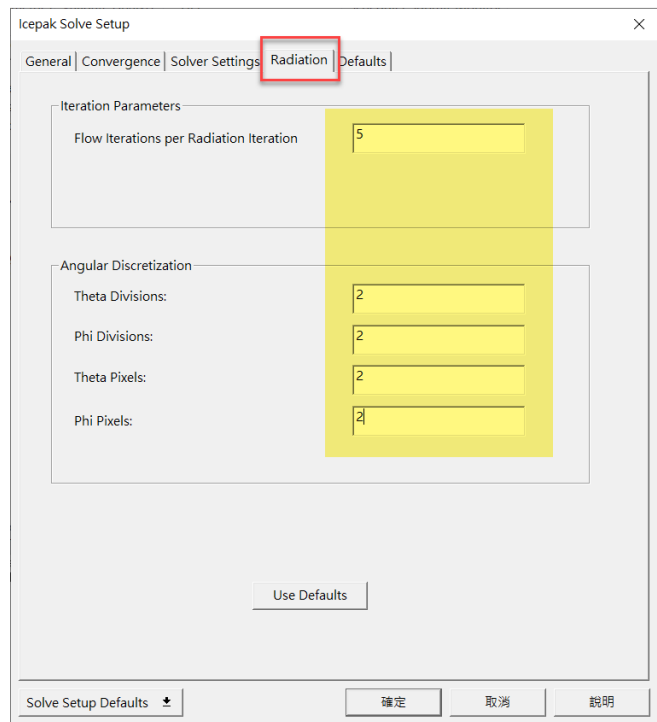
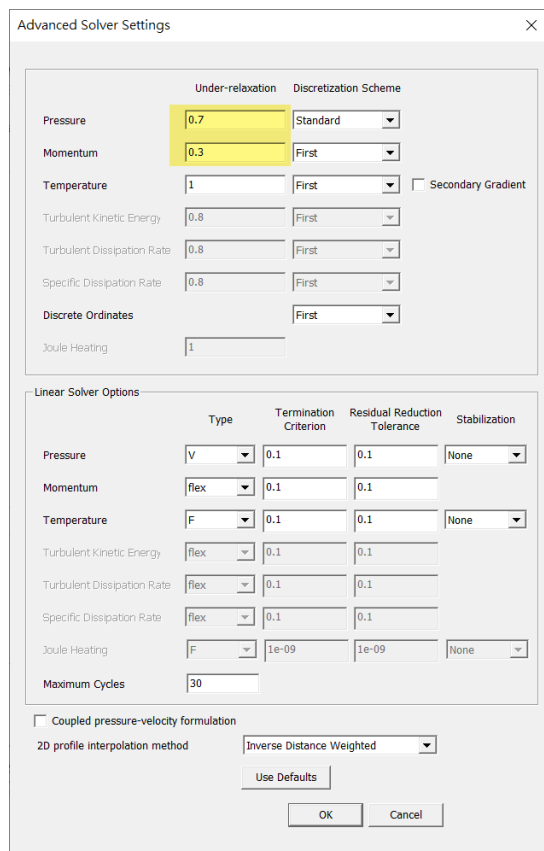
- 在「收斂(Convergence)」標籤下設置解決方案的收斂標準
 - 流動將保留為教程目的的 0.001，雖然對於自然或混合對流建議設置為 0.0001
 - 能量可以保留在 1e-07 或更改為 1e-08 (如此處所示)
- 在「求解器設置(Solver Settings)」標籤下，用戶設置模擬方程式的初始值
 - 允許穩態模型更快收斂
 - 0.005 m_per_sec 被設置在與重力相反的方向 (正 Z 方向)
 - 但如果你想，可以忽略這個面板



設置收斂條件

- 點擊「高級選項(Advanced Options)」來查看推薦設置
 - 在「高級求解器設置(Advanced Solver Settings)」按鈕下可以更改求解器方案，以幫助加快流動收斂
 - 對於自然對流問題，建議將壓力和動量欠放鬆因子分別設置為 0.7 和 0.3

- 這個面板可以幫助收斂，但對於許多模型來說，更改並非必需或必要
 - 「輻射(Radiation)」標籤提供了所選輻射模型（此處為離散坐標）的選項
 - 建議設置 5 個流動迭代每輻射迭代，以節省求解時間
 - 建議對所有角度离散化設置為 2，以提高準確性
- 完成後，點擊 OK 關閉「Icepak 求解設置」面板



進階模擬設定

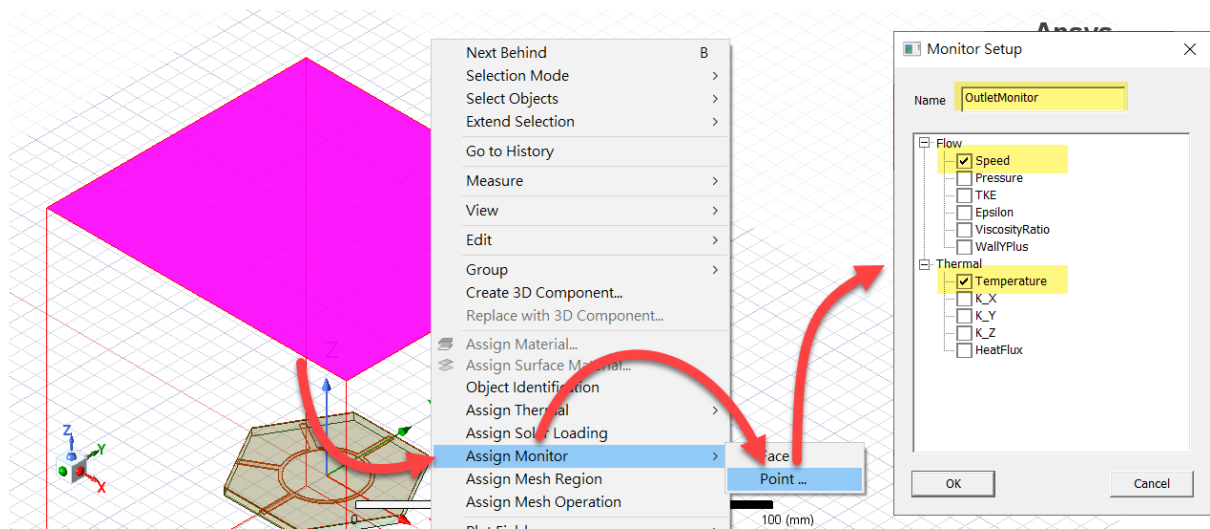
附注：

- 「求解類型」和「設計設置」步驟允許用戶指定模擬的環境條件和物理過程。
- 「收斂」和「求解器設置」標籤下的選項對於確保模擬的穩定性和準確性非常重要。

步驟 8. 監測器設置

監測點

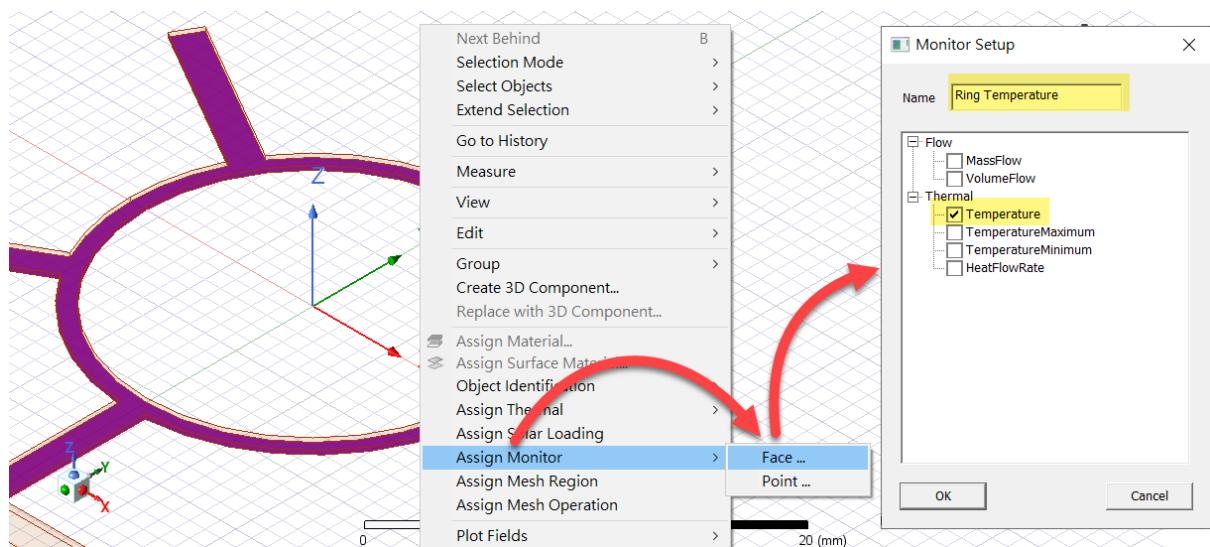
- 建議對所有模型使用監測點或監測面，以幫助追蹤關鍵溫度和流動點附近的解決方案
 - 當監測器「平坦化」時，顯示該區域的解決方案已達到穩態
- 按 F 進入「面選擇(Face Selection)」模式，選擇空氣區域的頂面
- 在窗口中右鍵點擊，選擇「指定監測器並添加點(Assign Monitor and Point...)」
 - 點會自動在對象的中心（2D）或質心（3D）創建
 - 此中心點位於被加熱對象上方，羽流應在此形成
- 將該點命名為 OutletMonitor，並在「流動(Flow)」下選擇速度選項，在「熱(Thermal)」下選擇溫度選項



加入監測點

監測面

- 確保仍處於「面選擇(Face Selection)」模式，並點擊頂部環面的上方
 - 這將選擇模型中的頂面
 - 按 B (後面) 直到頂部環面被突出顯示
- 在窗口中右鍵點擊，選擇「指定監測器並添加面(Assign Monitor and Face...)」
 - 在面監測器中，每個網格點都被作為流動選擇和熱通量的總量，並計算平均溫度
- 將該面命名為 Ring Temperature，並在「熱(Thermal)」選項下選擇溫度
- 保存項目



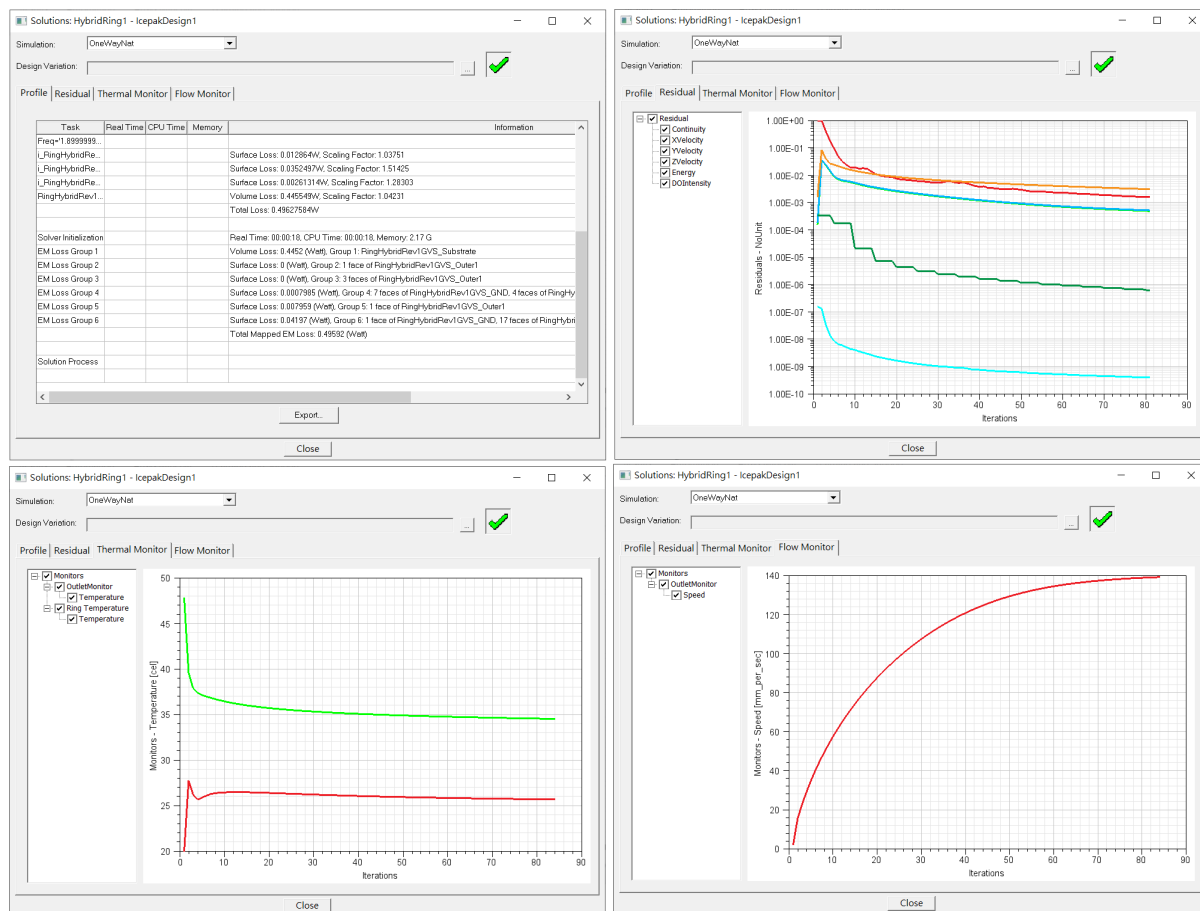
加入監測面

附注：

- 在 CFD 和熱模擬中，使用監測點和監測面可以幫助用戶更好地理解和分析模型中的流動和熱傳遞現象。
- 選擇正確的監測點和監測面位置對於捕捉模型中的關鍵物理現象至關重要。

步驟 9. Icepak 求解和監測

- 要開始 Icepak 求解，右鍵點擊分析下的 OneWayNat，選擇「分析(Analyze)」
 - 這將開始求解，但不會自動啟動您的監測器
- 在運行結束時，啟動監測器以追蹤解決方案是否完全收斂
 - 右鍵點擊 OneWayNat 並選擇「監測器(Monitor...)」
 - 「熱(Thermal)」和「流動(Flow)監測器」標籤顯示了為創建的點和面所對應的監測曲線
- 此外，「殘差(Residual)」標籤顯示了不同求解方程的殘差曲線



模擬進度狀態

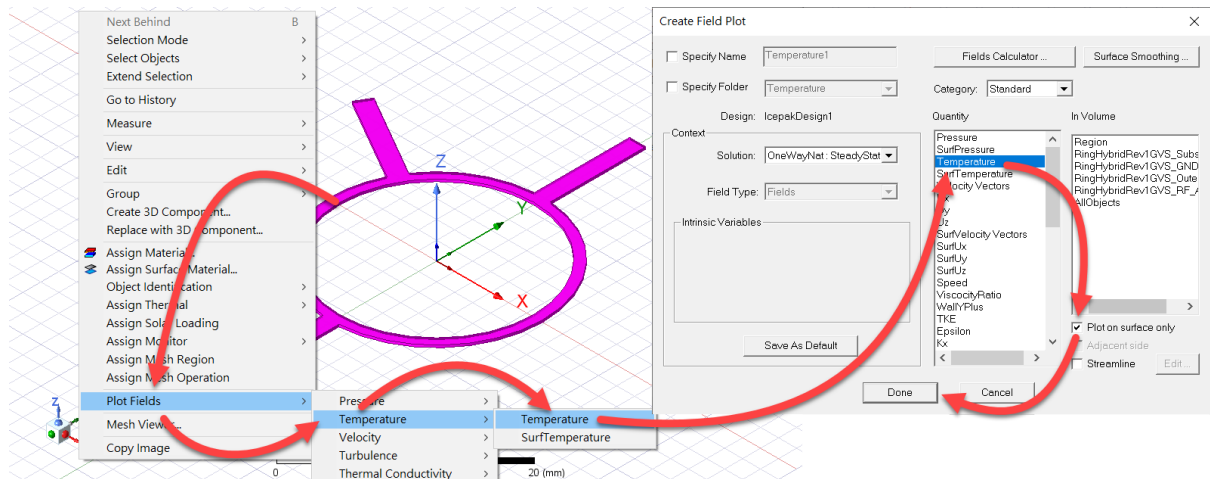
附注：

- 在 CFD 和熱模擬中，啟動求解並追蹤監測器是確保模擬結果準確性和穩定性的關鍵步驟。
- 監測器幫助用戶了解求解過程中關鍵點和面的溫度和流動變化，這對於評估模擬結果的可靠性非常重要。
- 查看殘差曲線可以幫助用戶判斷求解是否已經收斂，這是確認模擬結果準確性的一個重要因素。

步驟 10. Icepak 後處理

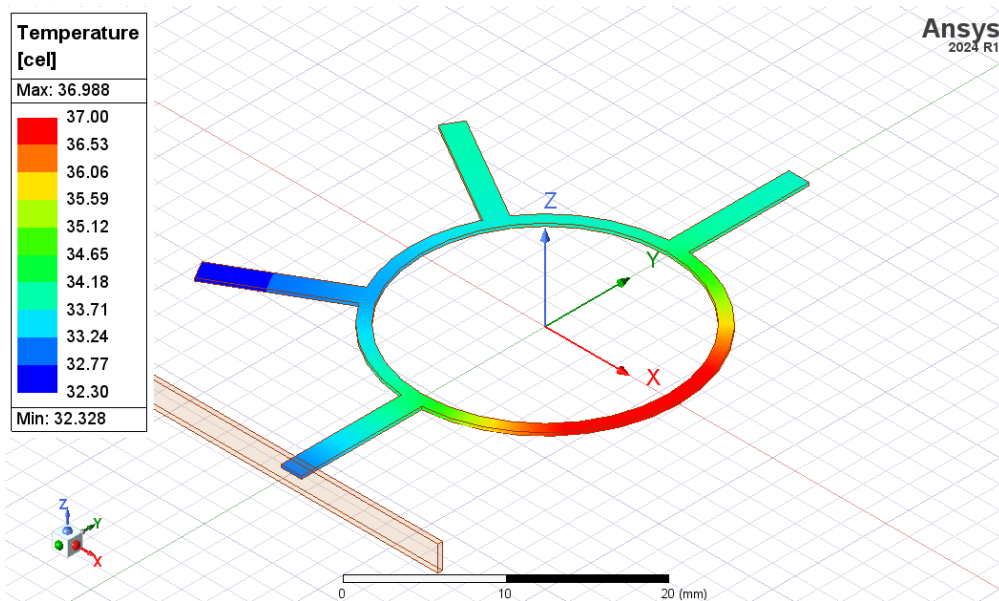
- 一旦解決方案完成，按 "O" 進入「對象 (體) 選擇(Object selection)」模式並選擇環形對象
- 在窗口中右鍵點擊，選擇「繪制場量(Plot Fields)」，然後選擇溫度(Temperature)

- 在彈出窗口中，保留所有選定選項，但勾選「僅在表面繪制(Plot on surface only)」選項，然後選擇「完成(Done)」



設定溫度場繪製

- 溫度應該與這裡顯示的圖像相似
- 注意最高溫度大約為 37°C

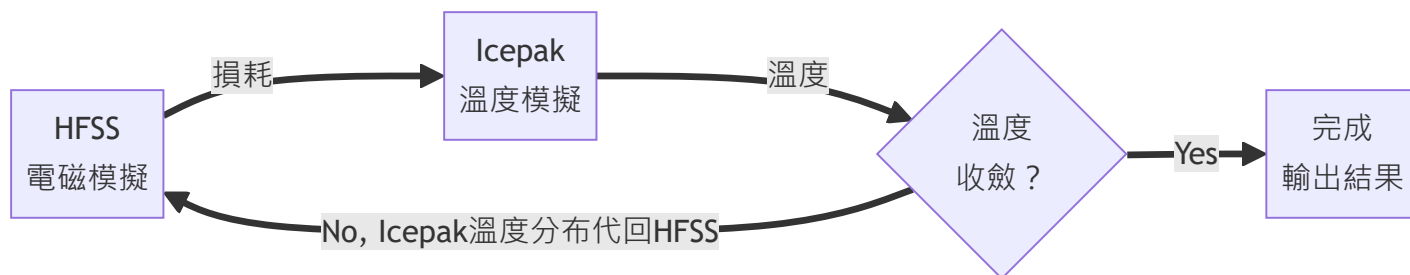


金屬上溫度分布

附注：

- 在 CFD 和熱模擬的後處理階段，繪制和分析模型中的溫度分佈是關鍵步驟，幫助了解和評估熱效應。
- 「僅在表面繪制」選項允許用戶專注於對象表面的溫度分佈，這對於評估外部熱效應非常有用。
- 觀察和記錄最高溫度點是評估熱管理效果和確定潛在熱問題的關鍵。

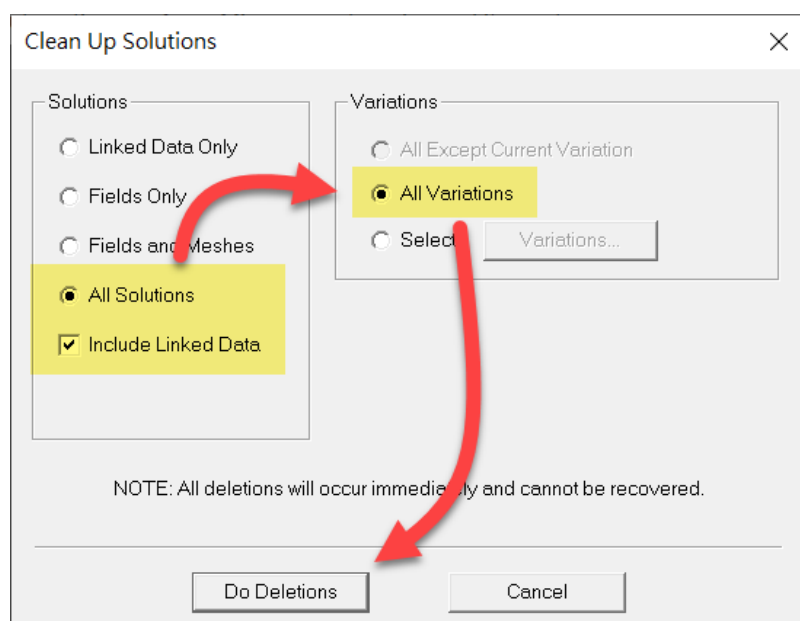
步驟 11. HFSS 循環運行



- 如果導體材料的電阻率隨溫度變化，則溫度的增加會增加電流的電阻
 - 這將導致體積中的功率損耗增加，從而進一步增加溫度
 - 從 Icepak 傳遞溫度信息到 HFSS 可以調整這個屬性，並且可以運行一個循環，直到功率和溫度完全收斂

清除模擬結果

- 點擊**清理結果(Clean Up Solutions)**，這將打開「清理結果」對話框。
- 在「結果(Solutions)」部分，選擇**All Solutions**，會清除所有網格、矩陣和場數據。
- 選擇「所有變體(All Variations)」來刪除當前設計的所有解決方案數據。最後點擊「進行刪除(Do Deletions)」。

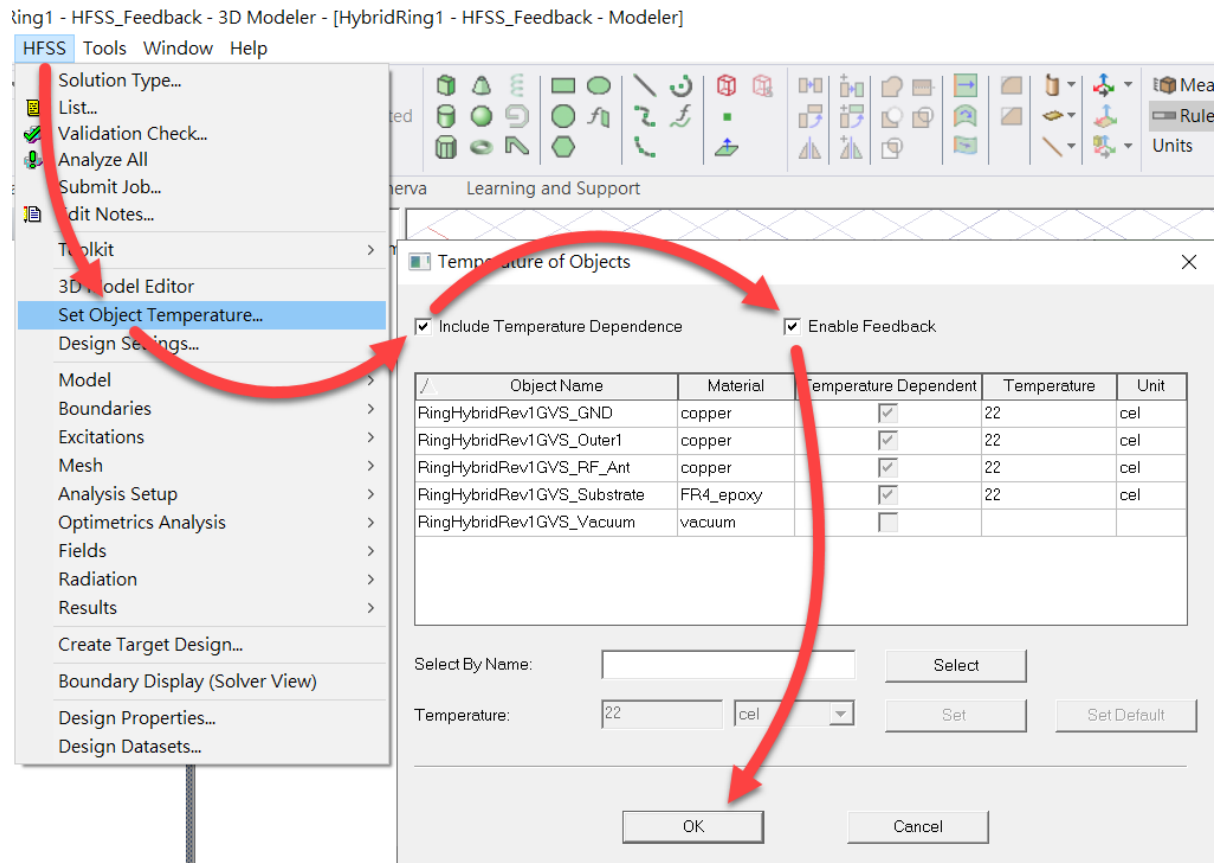


清除模擬結果

屬性調整

- 在進行單向耦合之前，已經為材料屬性輸入了熱修飾器
 - 如果在運行前更改了參考溫度，這只會影響單向傳遞
 - 對於反饋調整是必需的
- 在HFSS_1 設計當中，前往 HFSS 下拉菜單並選擇「設置對象溫度(Set Object Temperature...)」

- 在彈出窗口中，勾選「包括溫度依賴(Include Temperature Dependence)」和「啟用反饋(Enable Feedback)」選項以打開循環功能，選擇 OK 關閉面板



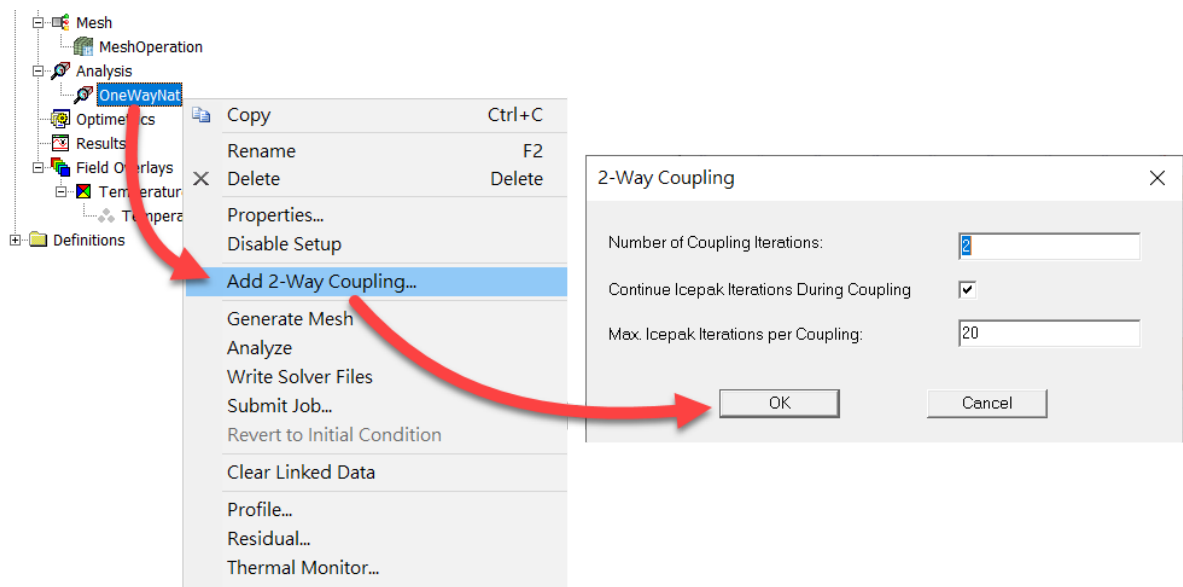
開啟溫度依賴

附注：

- 在 HFSS 的循環運行中，熱修飾器的使用是為了模擬材料屬性隨溫度變化的行為，這對於精確捕捉溫度對電氣性能影響非常關鍵。
- 「包括溫度依賴」選項允許模擬考慮材料屬性隨溫度的變化，而「啟用反饋」選項則開啟了在 HFSS 和 Icepak 之間的溫度反饋循環。
- 這種循環運行方法允許用戶在模擬中進行動態調整，以更準確地模擬實際工作條件下的電磁行為。

設置

- 右鍵點擊 OneWayNat，選擇「添加雙向耦合(Add 2-Way Coupling...)」
- 在彈出面板中保留預設設置
 - 你可以在這裡添加額外的循環
 - 「在耦合期間繼續 Icepak 迭代(Continue Icepak Iterations During Coupling)」選項允許全新重啟（在第一次運行後加快解決方案）
 - 「每次耦合的最大 Icepak 迭代數(Max. Icepak Iterations per Coupling)」會在僅幾次迭代後自動停止後續運行（對於全新重啟來說 OK，因為流動應該只會略有變化）
- 在 Feedback1 設置下，你現在應該會看到一個雙向耦合鏈接
- 保存項目



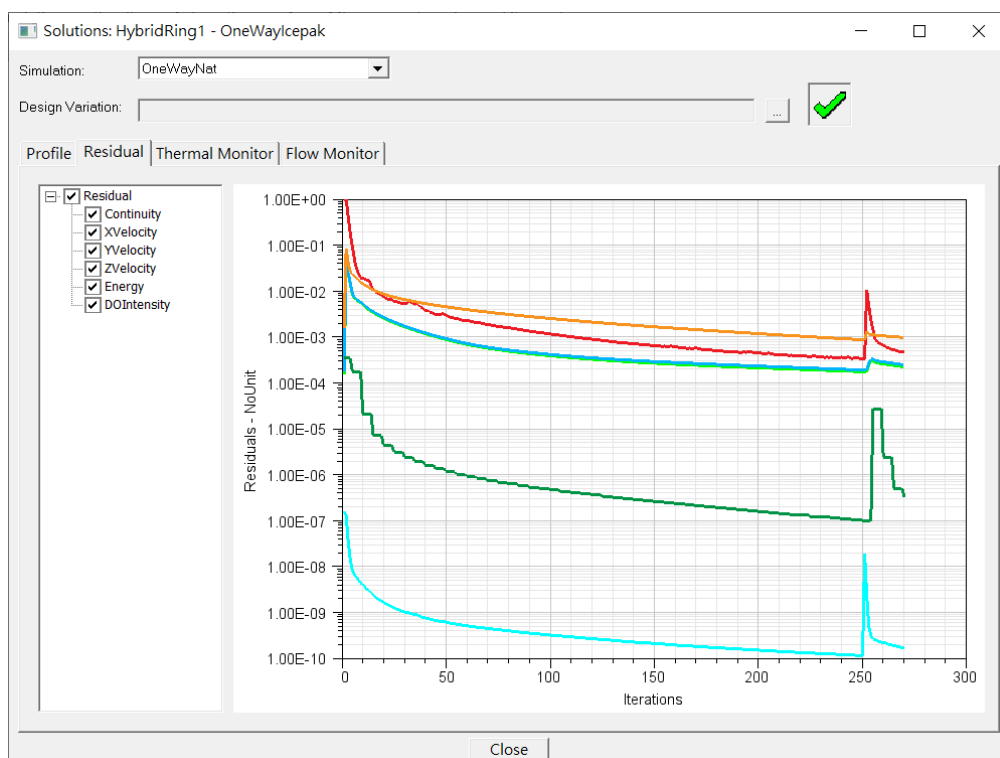
加入雙向耦合設定

附注：

- 添加雙向耦合功能允許 HFSS 和 Icepak 之間進行溫度和電磁數據的雙向交換，這對於模擬更加複雜的互動作用非常重要。
- 配置合適的耦合和迭代設置可以提高模擬的效率，尤其是在進行多次循環運行時。

求解和監測

- 右鍵點擊 **Feedback1**，選擇「分析(Analyze)」以運行循環解決方案
- 監測器將類似於之前的運行方式運行，但當解決方案用新的 HFSS 輸入重啟時，你會看到一個尖峰
 - 在解決方案完成後進行審查
 - 這個尖峰還顯示了溫度調整，並且應該很快平坦化

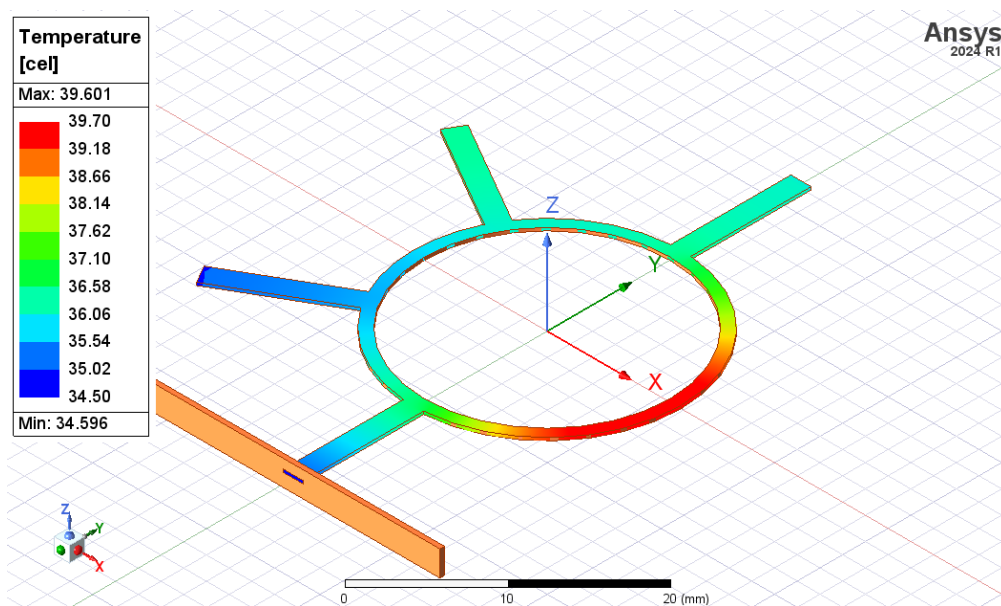


附注：

- 在循環運行中，使用 **Feedback1**（或其他命名的設置）可以持續追蹤 HFSS 和 Icepak 間的數據交換影響。
- 解決方案重啟並加載新的 HFSS 數據時可能出現的尖峰，是由於模擬條件的變化而引起的暫時性調整。

後處理

- 顯示之前創建的溫度場，顯示出最終循環溫度的最高值大約為 39.7°C ，增加了 2.7°C ！如果沒有溫度依賴性屬性循環，這種增加將無法看到



顯示最後結果

附注：

- 在進行循環運行後，展示溫度場有助於視覺化最終溫度分佈，特別是在考慮材料的溫度依賴性質後的變化。
- 2.7°C 的溫度增加顯示了溫度反饋循環在模擬中的重要性，這種循環考慮了材料屬性隨溫度變化而變化的影響。