

運用 XFDTD 設計穿戴式智慧裝置之雙頻 MIMO 天線

簡介

本案例演示一個紡織品製作，用於穿戴式裝置的雙頻天線，基礎天線本身是個矩形的貼片天線，內部是紡織品，外部由帶狀的導電膠帶包覆，由於天線本身有彈性，故同時建立平放和彎曲兩種狀態的模型以便於了解形狀改變對於天線性能的影響，也進一步做了關於人體的 SAR 值計算並且得到合格的結果，之後將這些貼片天線組成陣列，並且改變各種配置進行 MIMO 應用的模擬演示。

模型設計與模擬

平放的單體天線

第一階段先建立平放的單體貼片天線模型，俯視和 45 度側視如下圖的 1a 以及 1b，天線本身為矩形，裡面有一層 3mm 厚度的毛氈面料作為基板，外面用一層經過特殊處理的並且很薄的導電膠帶覆蓋使其適合作為天線單元在陣列中使用。

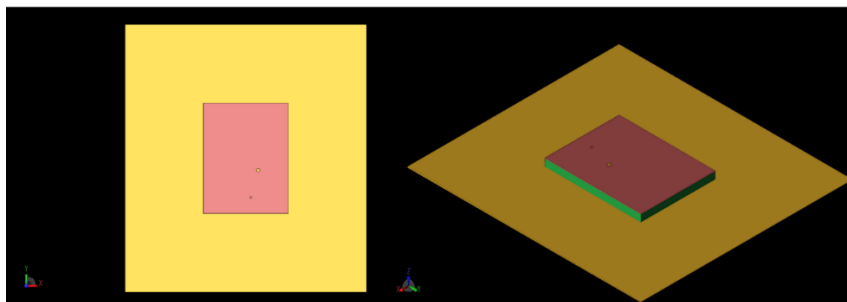
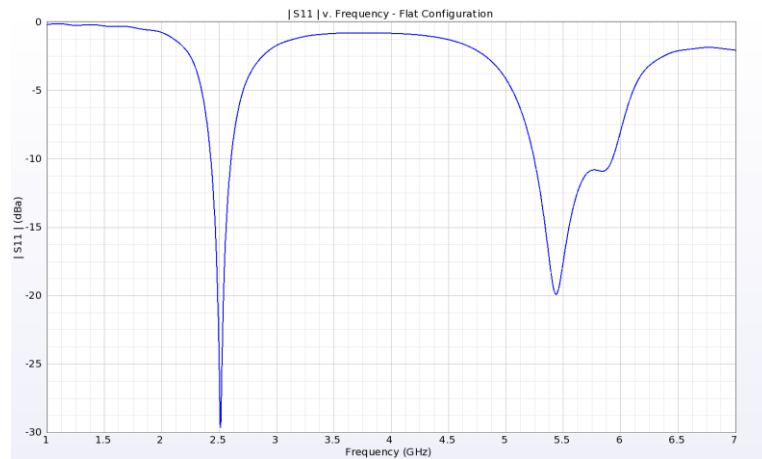
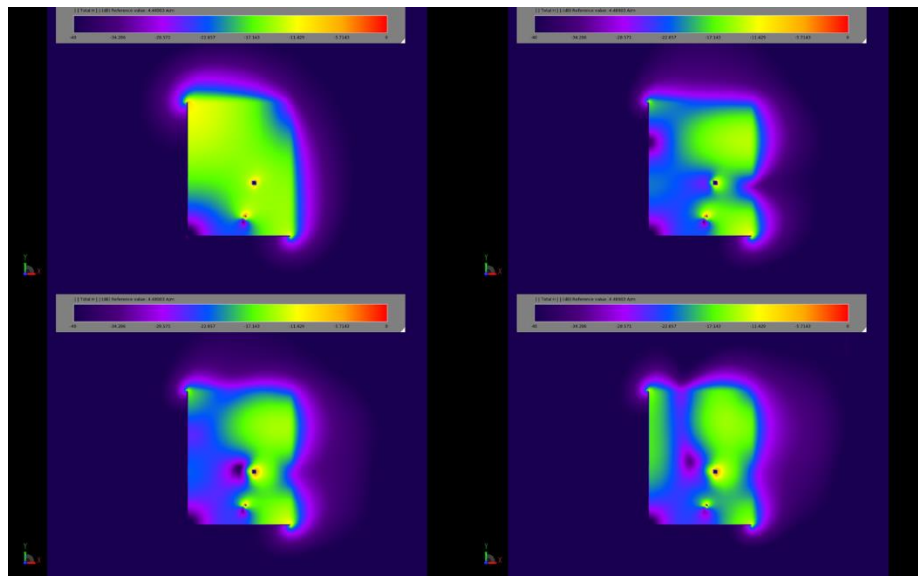


圖 1：俯視圖(左,1a)，45 度角側視圖(右,1b)

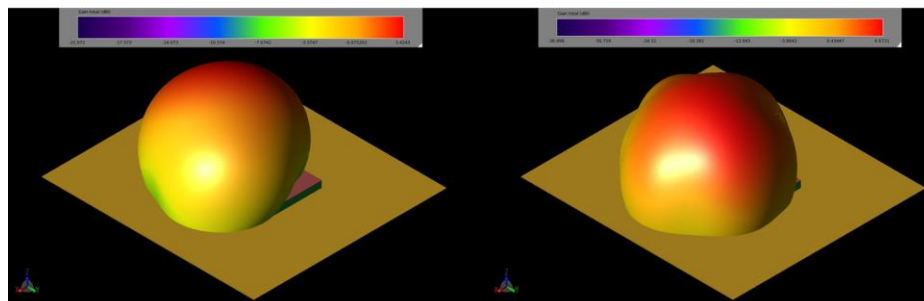
用 XFDTD 模擬這個最基本的天線模型，透過一個寬帶的模擬，在 2.5GHz 和 5GHz 得到滿意的 return loss(圖二)，而圖三則是在多個不同頻點貼片表面的穩態磁場，分別是圖 3a 是 2.45GHz，3b 為 5.2GHz，3c 為 5.5GHz，3d 為 5.8GHz，圖四則是三維增益場型，在 2.45GHz 時為 3.4 dBi，5.5GHz 為 6.7dBi。



圖二：模擬的 return loss 結果顯示單一貼片天線在 2.5 GHz 以及 5.4 GHz 到 5.8 GHz 的區域有明顯的 null，並且在高頻段有較佳的操作空間。



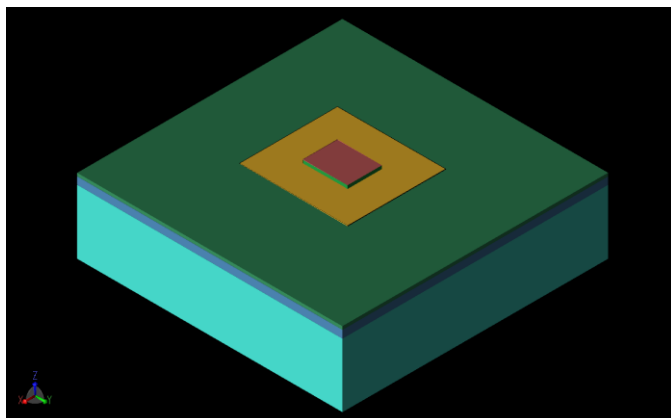
圖三：不同頻點的穩態磁場分布 3a(左上)為 2.45GHz，3b(右上) 5.2GHz，3c(左下)5.5 GHz，3d(右下)5.8 GHz。



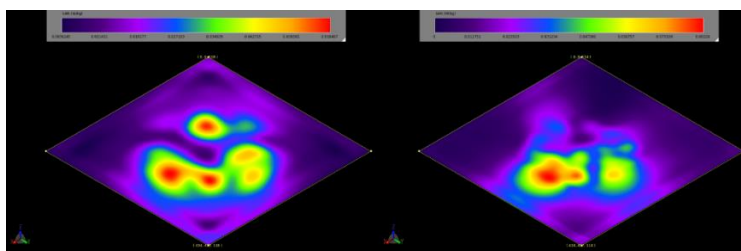
圖四：不同頻點的增益場型，4a(左)2.45 GHz，4b(右) 5.5 GHz。

透過模擬了解天線的基本工作特性後，進一步的計算 SAR 值，將貼片天線置於由皮膚，脂肪，以及肌肉構成的多層 phantom 上 5mm 處進行模擬(圖五)，透過模擬可知在當輸入功率

為 0.5 瓦時 1 公克平均 SAR(1-gram averaged SAR)值的峰值在 2.45GHz 時為 0.113W/kg，5.5 GHz 時為 0.18W/kg，兩者均低於工業標準允許的上限值，同樣的輸入功率下，10 公克平均 SAR 值為 2.45GHz 時為 0.058W/kg，5.5GHz 時為 0.082W/kg，也低於工業標準允許的上限值，圖六為在不同頻點的 SAR 值分布。



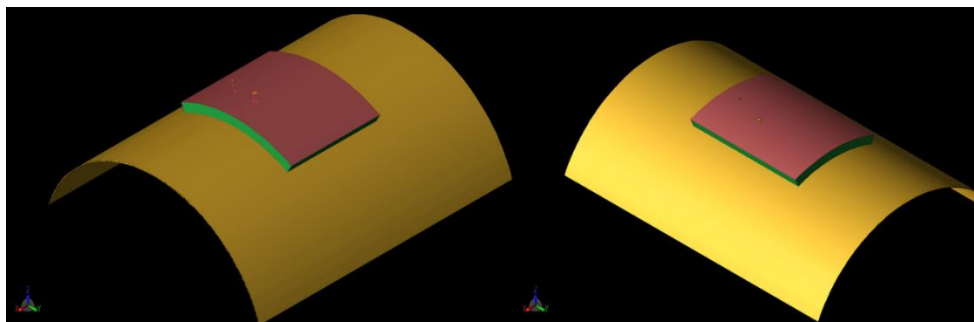
圖五：將貼片天線模型置於相當於皮膚，脂肪以及肌肉三層的生體組織模型上進行 SAR 模擬。



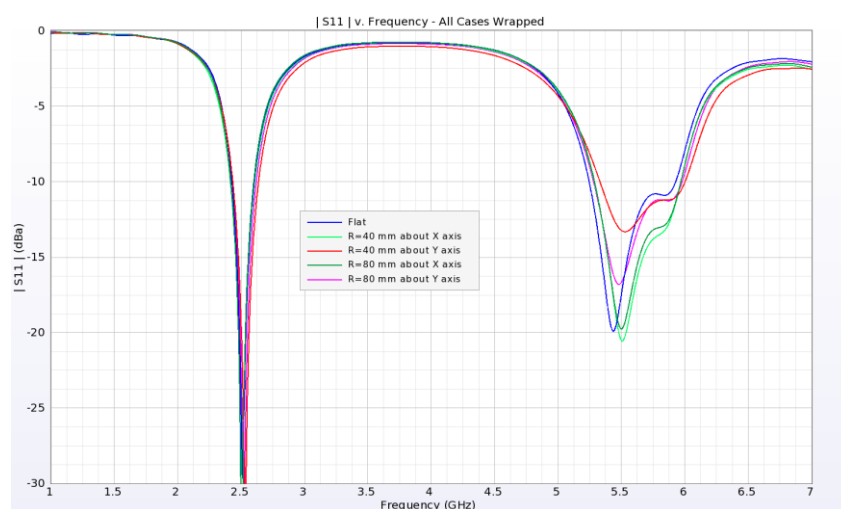
圖六：輸入功率為 0.5 瓦時，10 公克平均 SAR 值場形圖，左圖為 2.45GHz 時的 SAR 值分布，右圖為 5.5GHz 的 SAR 值分布。

彎曲狀態單體貼片天線模擬

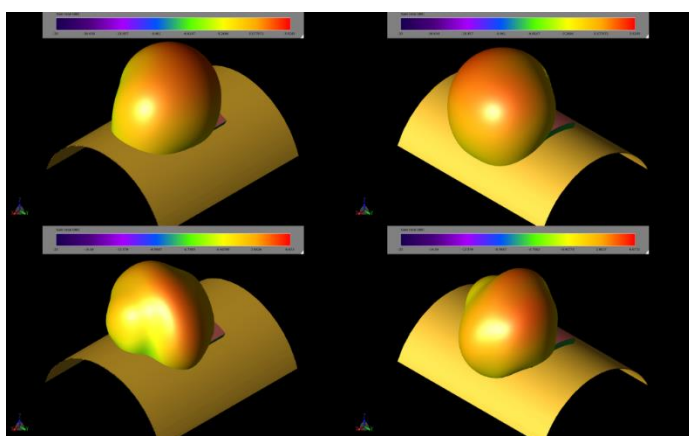
在完成平放的貼片天線模擬，並得到滿意的結果後，進一步的將模型修改成更接近實際穿戴情況，將原本平放的貼片天線修改成半徑 40mm 和 80mm 的兩個弧形模型(圖七為半徑 40mm 對 X 軸以 Y 軸作彎曲的模型)，從模擬結果可以得知在低頻 return loss 非常接近原本水平的版本，而在高頻 null 的深度以及頻點則有變化(圖八)，以弧形半徑 40mm 的貼片天線為例，在 2.45GHz 時，和原本水平的貼片天線相比，貼片對 X 軸彎曲時增益從 3.4dBi 降到 2.2dBi，對 Y 軸彎曲時則降到 1.8dBi，而在 5.5GHz 頻點增益場型就變得一致，而最大增益相較於平放也降低了約 2dBi，半徑 80mm 的模型則增益和水平的貼片天線較為接近，不過在 2.45GHz 時對 X 軸彎曲的貼片天線最大增益降至 2.8dBi，對 Y 軸彎曲時則降低至 2.5dBi，而在 5.5GHz 時則兩者都大約降低 1dBi。



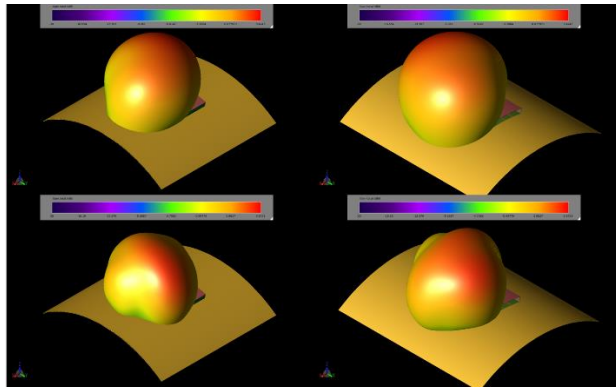
圖七：原本水平的贴片天線被改成類似穿戴後的弧形，右圖是對 X 軸彎曲，半徑 40mm，左圖是對 Y 軸彎曲，半徑 40mm。



圖八：對於各種不同配置(半徑 40mm/80mm)的模型進行模擬並觀察 return loss 的變化，在低頻時和平放的情況較為一致，在高頻則變化較大，不過工作區間都很接近。



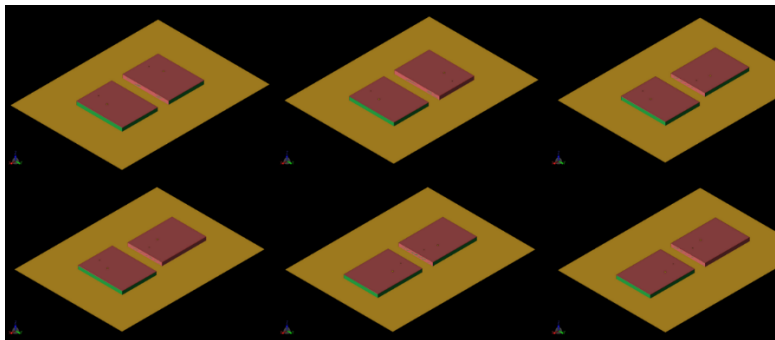
圖九：弧形半徑為 40mm 時不同配置的增益場型，左上為 2.45GHz 時對 X 軸彎曲的案例，右上為 2.45GHz 時對 Y 軸彎曲的案例，左下為 5.5GHz 時對 X 軸彎曲的案例，右下為 5.5GHz 時對 Y 軸彎曲的案例。



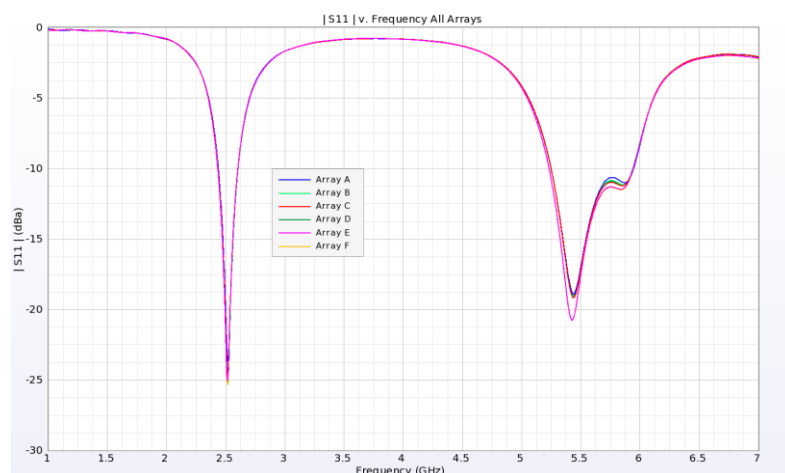
圖十：弧形半徑為 80mm 時不同配置的增益場型，左上為 2.45GHz 時對 X 軸彎曲的案例，右上為 2.45GHz 時對 Y 軸彎曲的案例，左下為 5.5GHz 時對 X 軸彎曲的案例，右下為 5.5GHz 時對 Y 軸彎曲的案例。

MIMO 天線陣列(水平放置)

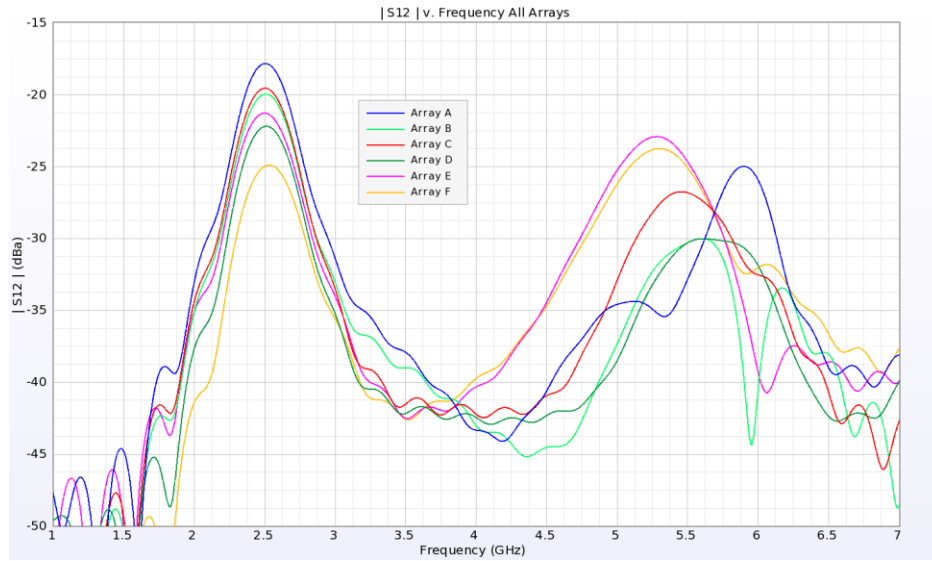
接下來我們把兩個基本的貼片天線用不同的方式排列組成一個 1*2 的 MIMO 陣列，天線單元間隔為 10mm，中間施加良好的隔離確保天線的隔離度，並對 6 種不同的組合方式進行模擬，天線單元有時同時激發，有時候單獨激發，模擬結果可以看出來不同的排列方式會得到很接近的 return loss，並且可以從 S12 看出來在工作頻點天線之間保持有良好的隔離效果。



圖十一：1x2MIMO 陣列的六種不同排列方式。



圖十二：六種不同配置方式的 return loss，都非常接近。

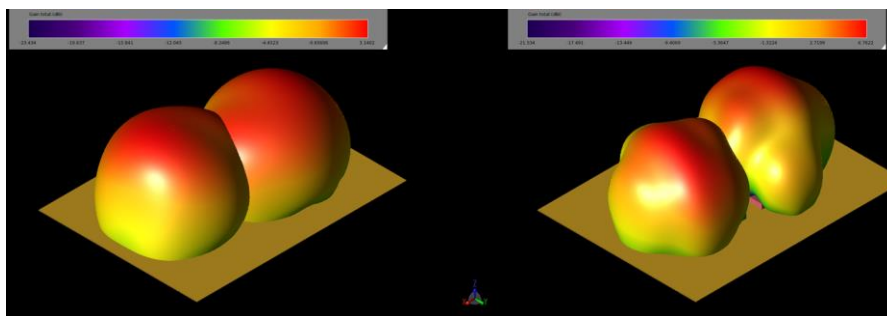


圖十三：用 S12 值來檢視兩個天線單元之間的隔離度，所有的配置都顯示可以達到或優於-17dB。

進一步對圖十一中的各種配置做模擬並求得增益場型，從結果得知都有相似的增益場型以及峰值(圖十四)，同時進一步的計算遠場包絡係數(Envelope Correlation Coefficient, ECC)以及複相關係數(Complex Correlation Coefficient)來判斷這個陣列是不是能保證良好的分集增益，可以從圖表一得知這個指標值都遠低於 0.5，代表這個天線陣列有良好的表現。

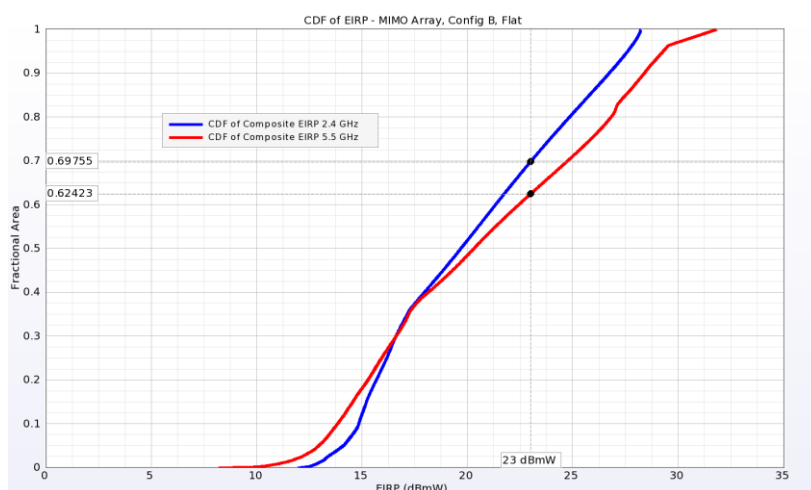
	Array A	Array B	Array C	Array D	Array E	Array F
Env Cor 2.45	8.77e-2	5.01e-2	5.4e-2	2.87e-2	3.12e-2	1.37e-2
Env Cor 5.5	2.41e-5	3.99e-4	6.83e-4	2.01e-4	4.67e-4	2.42e-4
Comp Cor 2.45	2.96e-1	2.24e-1	2.32e-1	1.69e-1	1.7e-1	1.17e-1
Comp Cor 5.5	4.91e-3	2.0e-2	2.61e-2	1.42e-2	2.16e-2	1.56e-2

圖表一：六個不同配置的 MIMO 陣列在 2.45 GHz 和 5.5 GHz 的 Envelope Correlation 與 Complex Correlation Coefficients。



圖十四：相同配置的天線增益場型(一次激發一個天線體，同時顯示兩個獨立天線體的增益場型)，左圖為 2.45 GHz 的場型，右圖為 5.5 GHz 的場型。

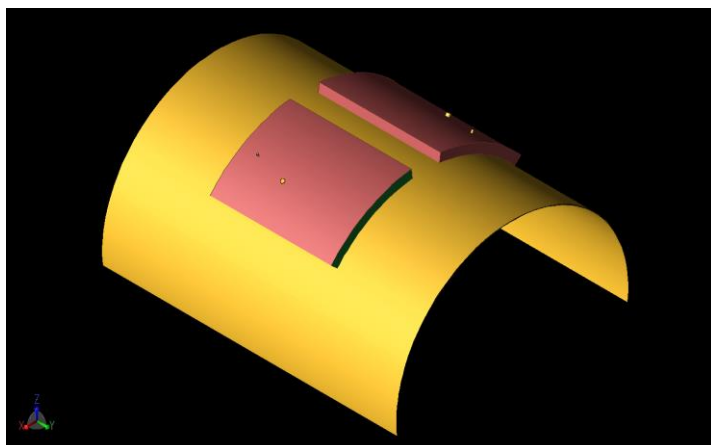
接著我們可以透過累積分布函數來看等效全向輻射功率(equivalent/effective isotropic radiated power EIRP)這個指標來評估陣列天線的性能，概念上可以視為看這個配置的陣列天線在整個全球面的範圍內達到設計指標的涵蓋範圍占多少比例，從圖十五可以看出以圖十一中的配置 B 為例，頻率在 2.45GHz 時可以達到在 30.2%的球面有輸入功率 23 dBmW 的涵蓋率，而同樣的輸入功率在 5.5GHz 時則有 37.6%的涵蓋，而六種不同的配置在 2.45GHz 時，同樣的輸入功率平均涵蓋率為 28.6%，5.5GHz 時則為 38.3%。



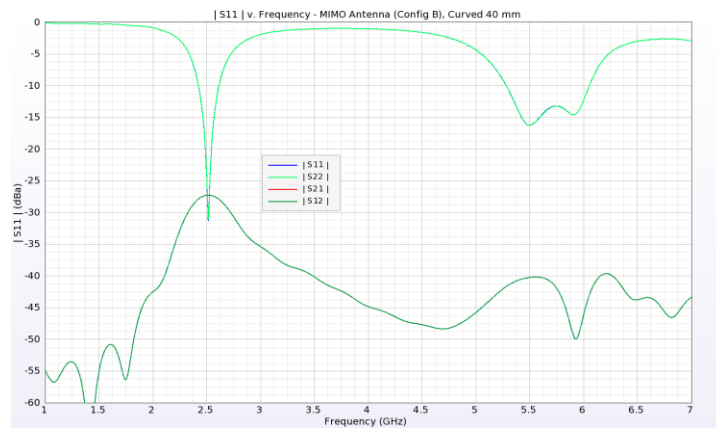
圖十五：EIRP 的累積分布函數圖，可以標示圖十一的陣列配置 B 在兩個頻點(2.45 GHz , 5.5 GHz)的涵蓋率，在輸入功率為 23 dBmW 時，2.45 GHz 有 30.2%而 5.5 GHz 時為 37.6%。

MIMO 天線陣列 (彎曲)

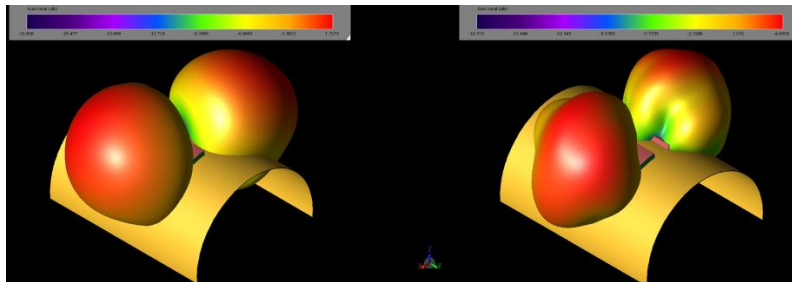
接著把平放的貼片天線(陣列)彎曲到半徑 40 mm 的弧度，進一步做更接近實際情況的模擬，從模擬的結果可以得知 return loss 和隔離度(-27dB)都有良好的表現(圖十七)，而個別天線體在 2.45 GHz 和 5.5 GHz 的增益場型和平放時類似但是增益值減低，遠場包絡係數也顯示良好的性能，在 2.45 GHz 為 $6.0e-3$ ，在 5.5GHz 時為 $5.1e-5$ ，複相關係數在這兩個頻點為 $7.8e-2$ 和 $7.1e-3$ ，而 EIRP 分析則顯示在 2.45 GHz 時 23 dBmW 輸入功率的覆蓋率可達 32.2%，5.5GHz 時則為 48.1%。



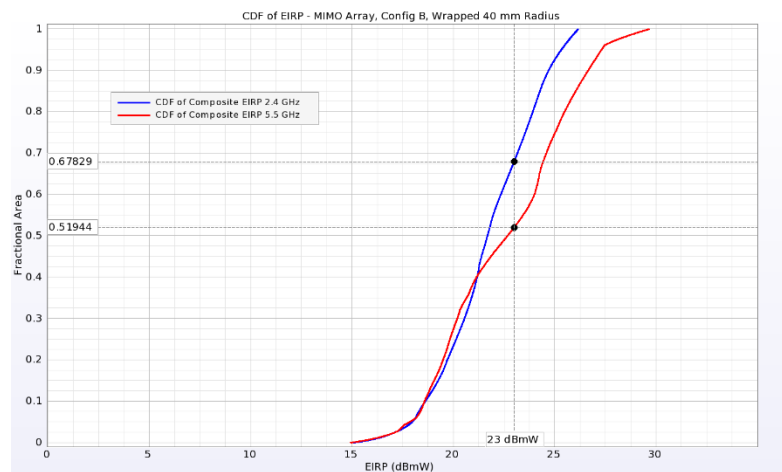
圖十六：將圖十一的配置 B 修改成對 Y 軸彎曲 40 mm 的弧形。



圖十七：半徑 40mm 弧形 MIMO 天線陣列的 return loss 和隔離度，可以看出在 2.5 GHz 以及在 5.3~5.6 GHz 有良好的表現。



圖十八：弧形 MIMO 陣列的單天線增益場型。



圖十九：弧形 MIMO 天線的 EIRP 累積分布函數，23 dBmW 在 2.45 GHz 有 32.2% 的涵蓋範圍，5.5GHz 時有 48.1% 的涵蓋範圍。

結論

這個範例演示了用 XFDTD 建立一個以紡織物製作，用於穿戴式裝置的雙頻 MIMO 陣列天線，從單體的貼片天線開始不斷增加複雜度，最後完成了一個有良好性能表現的 MIMO 陣列天線。

本文翻譯/改寫自 Remcom 原廠網站原文“Wearable Dual-Band MIMO Antenna”一文，參考文獻為“S. Yan, P. J. Soh, and G. A. E. Vandenbosch, “Dual-Band Textile MIMO Antenna Based on Substrate Integrated Waveguide (SIW) Technology,” IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 63, no. 11, p. 4640-4647, Nov. 2015.”

您如果需要进一步的询问各种信息，或是寻求技术支持服务或询价可以拜访我们的网站或是透过 QQ 或微信联系我们

微信公众号：Remcom 仿真模拟世界



Q 群名称：REMCOM 仿真软件信息

QQ 群号：439531441

Wechat ID：CAEsoftware0822

或是来电：18411033831 或 13524674000