

Sept. 2022

大數據分析於低軌道衛星天線開發的應用

- 邱宗文 博士（川升股份有限公司 創辦人）

講者介紹



邱宗文 博士



學經歷

- 台北工專電機科/中山大學電機博士
- 第四屆臺灣天線工程師學會理事長
- 山東省泰山學者/海外特聘專家
- 成功大學/台北大學等 兼任助理教授
- 資深科大/技術學院評鑑委員
- 連展無線通訊事業處處長
- 川升股份有限公司創辦人
- 200多項天線相關發明專利發明人

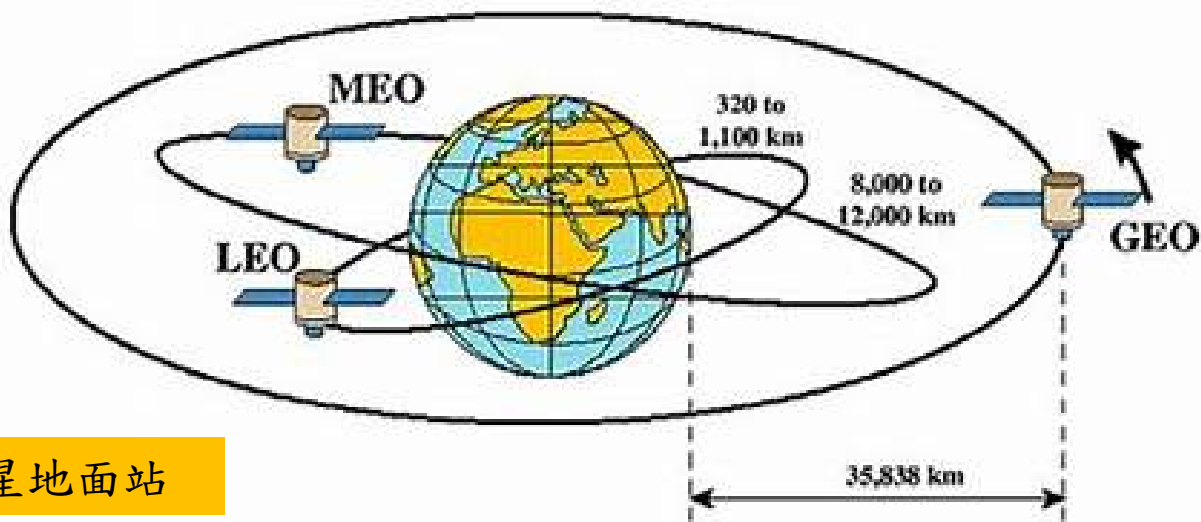


專長

- 天線設計及微波電路應用
- 天線OTA量測

大綱

- 低軌衛星概述 – What? Why?
- 波束成型天線設計&大數據應用 – How?
- 天線量測方式介紹&大數據應用 – How?
- 結論



VSAT(Very Small Aperture Terminal)：小型衛星地面站

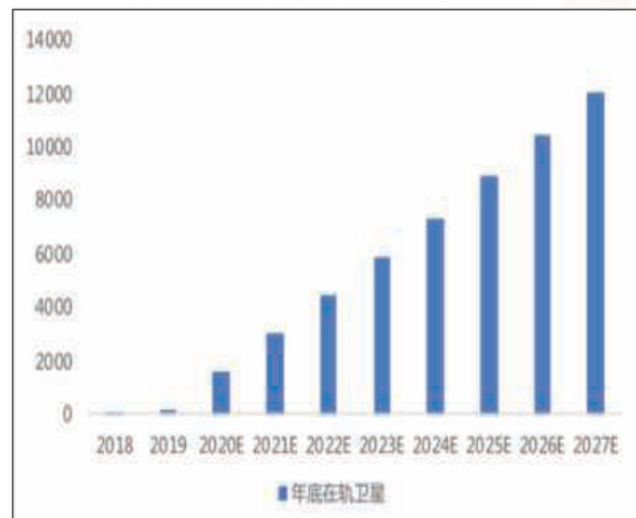
衛星遙測&通訊 -B5G/6G

2022 3GPP R17 - NTN (Non-terrestrial Network)

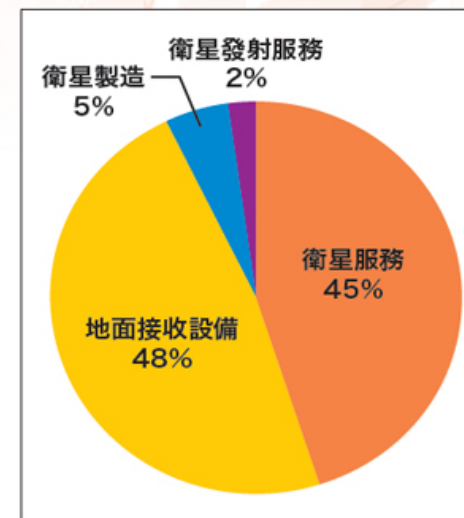
全球衛星市場預估



SPACE X衛星發射規劃



2019年全球衛星產業四大領域營收規模比重



通訊：會飛有眼睛的基地台
→ 涵蓋範圍（海洋/非都會）
→ 自駕車/物聯網
→ 監控
→ 軍事

純衛星營運商：SpaceX（Starlink），Telesat，Iridium，OneWeb和Kepler Communications等

非傳統公司：亞馬遜（Kuiper Systems）和臉書等獨立玩家

合作夥伴聯合：騰訊（與Satellogic、籬筐技術及航太科工海鷹集團合作的WeEarth）和Alphabet（與Telesat合作）

AiP為何成為5G/B5G主流？

以下功能都需要AiP

5G→Phased array克服Path loss

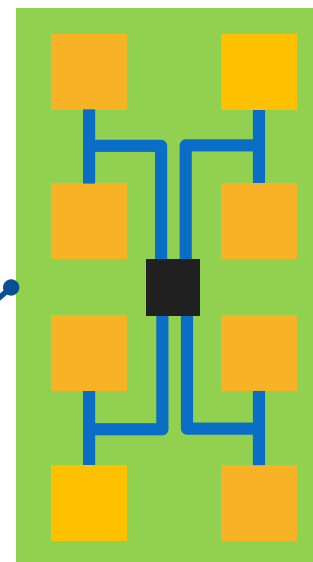
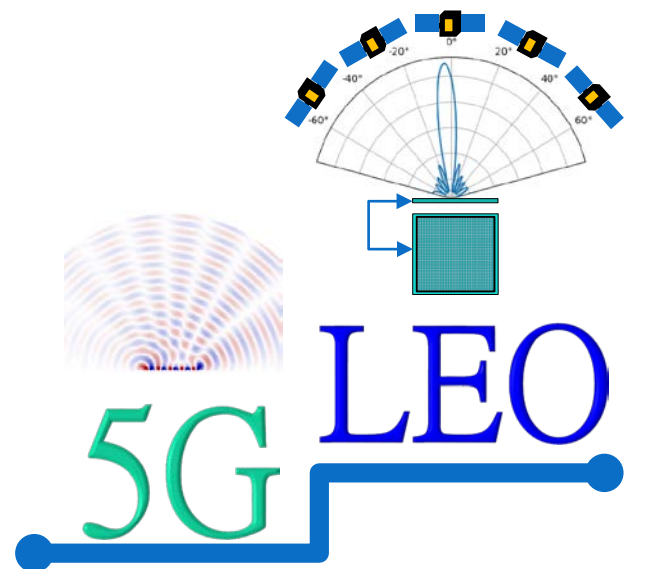
LEO→動態波束追星

4G

- * 靜態波束
- * 饋入網路

- * IC 技術不成熟
- * 體積大
- * 成本高
- * 天線、電路獨立再串接
- * 量測容易

- * IC 技術成熟
- * 體積小
- * 成本下降
- * 天線電路一體
- * **動態波束**
- * **量測技術門檻高**
需考量細節多



電路板材料參數不均勻

天線特性不同

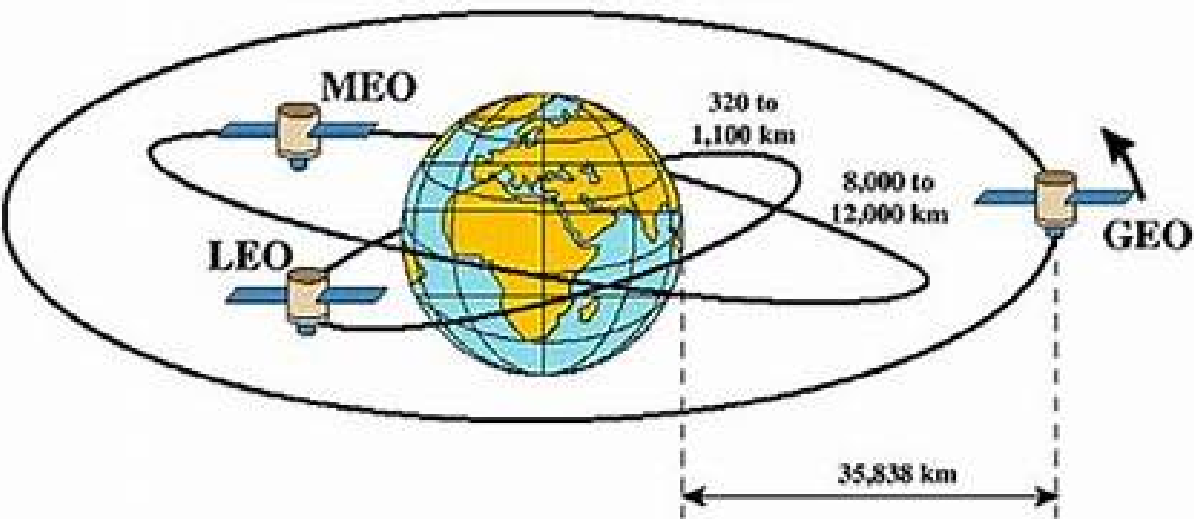
Insertion Loss

子天線

微帶線

Phased array IC

GEO/MEO/LEO



圓軌/橢圓軌
電離層 → 極化偏移 → 圓極化
非同步必須追蹤 → 高訊雜比(smart ant./array) → AiP/QZ

(HEO)

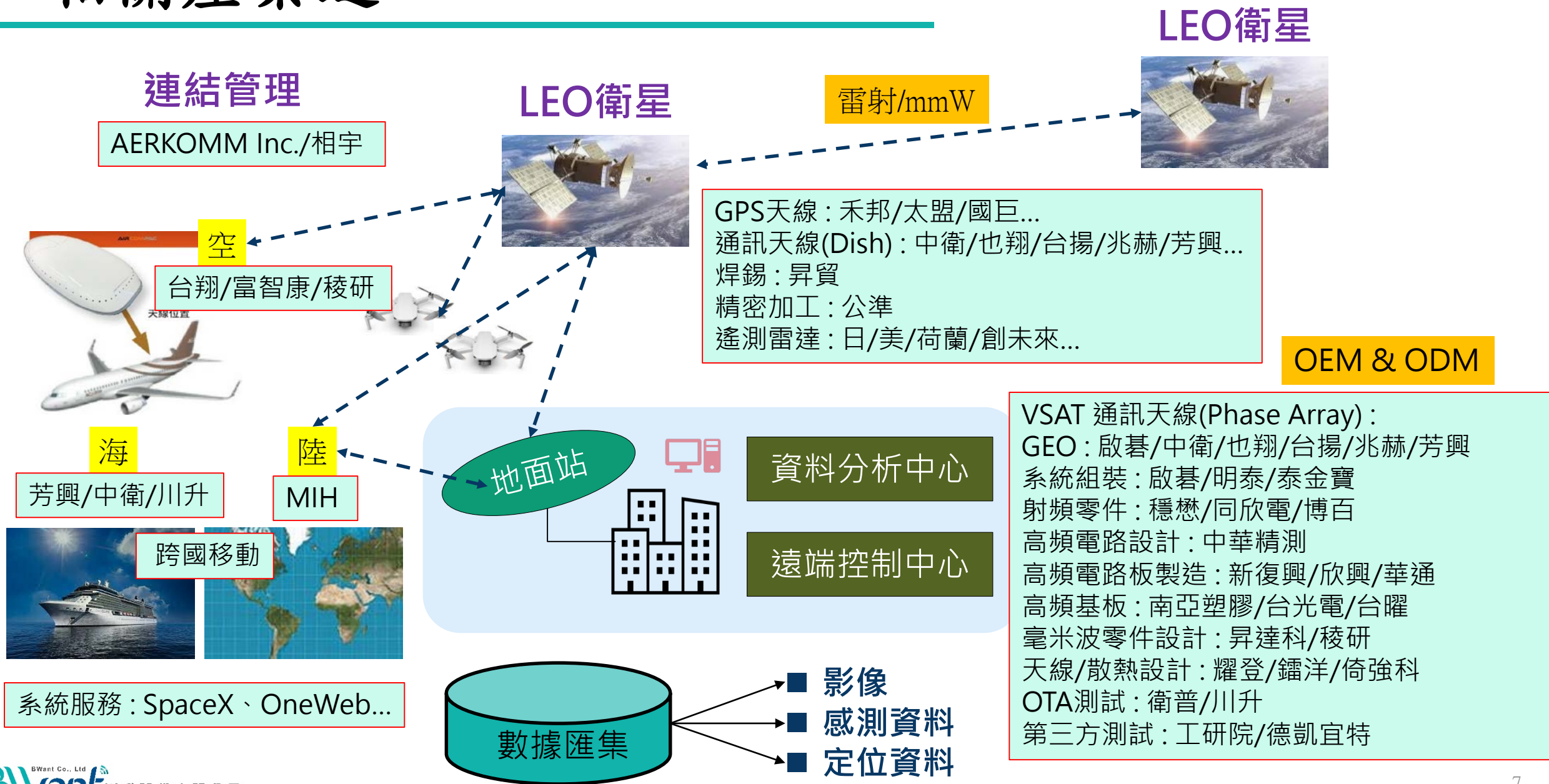
型態	低軌衛星 LEO	中軌衛星 MEO	同步衛星 GEO
高度	300-1500 km	8000-12000 km	36000 km
可用時間	15min	2-4hrs	24hrs
優點	低成本 傳輸延遲低 訊號衰減低	中度成本 傳輸延遲低	地表覆蓋率 42.2% 無都卜勒效應
傳送延遲來回時間	15ms	100ms	250ms
缺點	生命週期短 衛星體系複雜 有都卜勒效應	衛星體系複雜 有都卜勒效應	傳輸延遲大 衛星成本較高 軌道為置有限

通訊/遙測

GPS

通訊/電視廣播

相關產業鏈



LEO廠商&頻段

表9-2 各國主要廠商低軌道衛星通訊計畫概況 Kymeta

國家	企業	計畫名稱	計畫發射數量(顆)	頻段
美國	Space X	Starlink	11,927	Ku、Ka
	Amazon	Kuiper	3,236	Ka
加拿大	Telesat	Telesat LEO	512	Ka、
	Kepler	Kepler	140	Ku
英國	OneWeb	OneWeb	650	Ku、Ka、V

註：Ku頻段為11/14GHz；Ka頻段為20/30 GHz；V頻段為37.5~42.0 GHz及47.2~50.2GHz。

資料來源：賽迪顧問(2020.06)、工研院產科國際所、本研究整理，2020年11月

波音

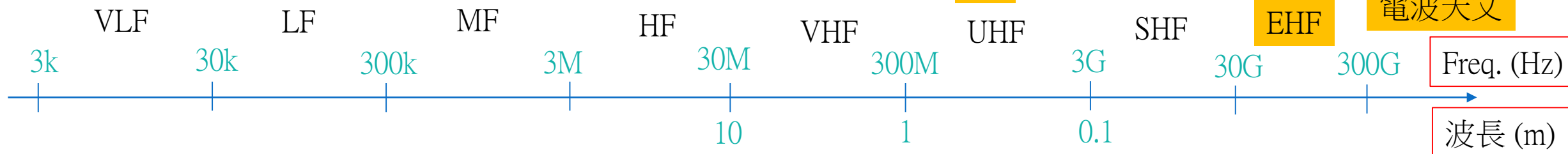
中國航天科工之「虹雲工程」與中國航天科技之「鴻雁星座」

RF

THz(太赫芝) : 0.3~3 THz
亞毫米波

EHE

電波天文



頻段	範圍 (GHz)
UHF	0.3~1
L	1~2
S	2~4
C	4~8
X	8~12
Ku	12~18
K	18~27
Ka	27~40
V	40~75

iphone14!

大綱

- 低軌衛星概述 – What? Why?
- 波束成型天線設計&大數據應用 – How?
- 天線量測方式介紹&大數據應用 – How?
- 結論

機械式轉軸天線

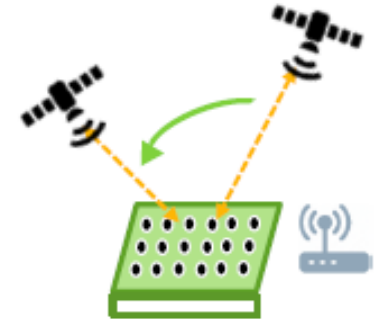


擁有一個用於旋轉天線方向的機械臂，有轉向慢、物理尺寸大、長期可靠性差等缺點



LEO以7.56km/s快速移動，造成覆蓋範圍快速變化及都卜勒效應

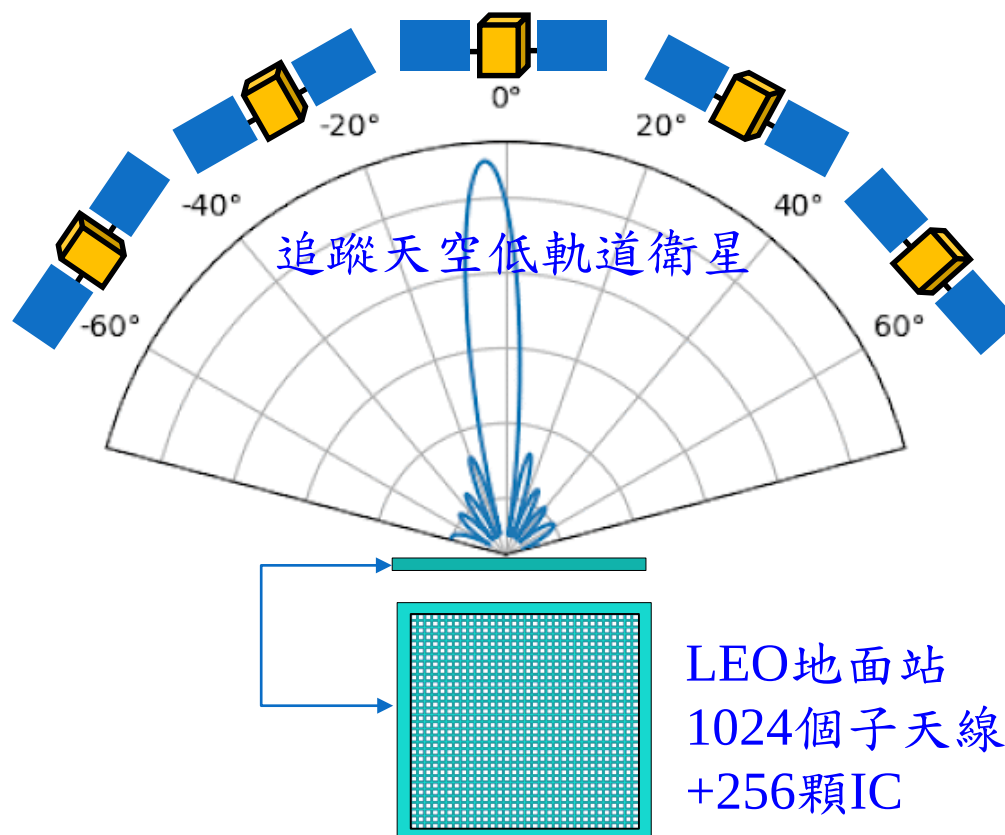
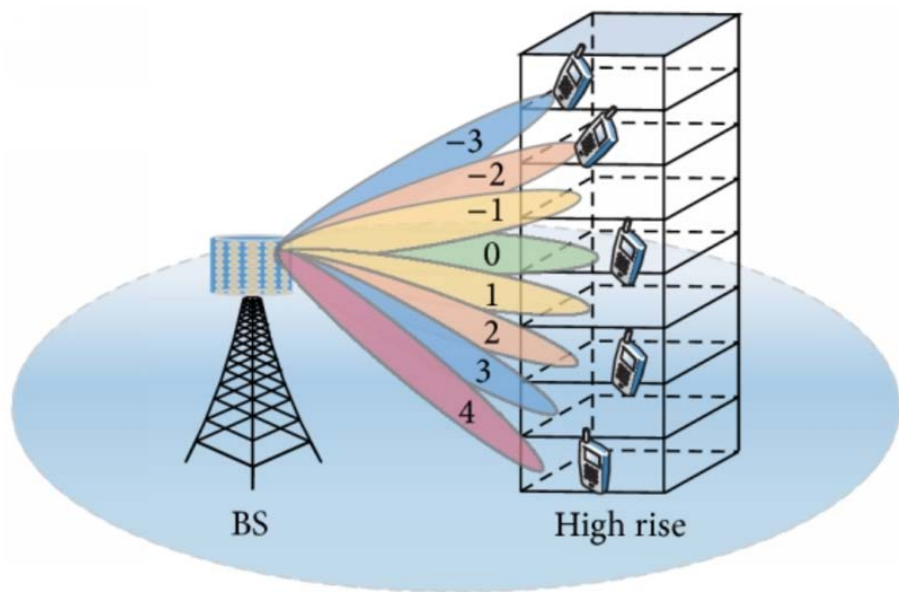
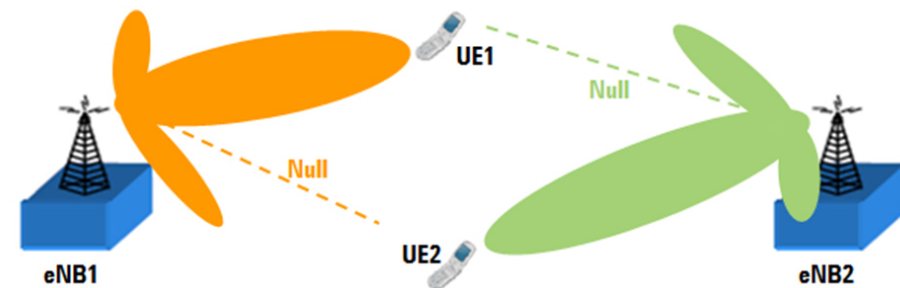
相位陣列式天線



波束具快速轉向的特性，且可同時發射多個波束，追蹤多個目標

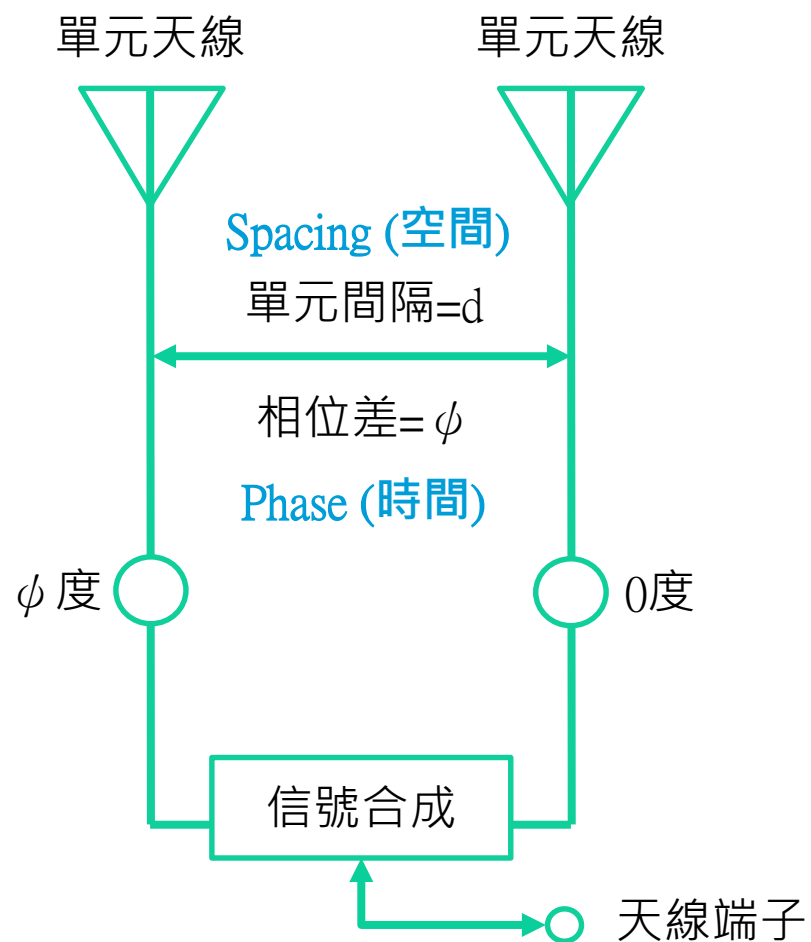
波束成型(Beamforming)目的

- 提高訊雜比 (SNR)
- 場型分集 (Pattern Diversity)
- 提高涵蓋範圍 (Coverage)



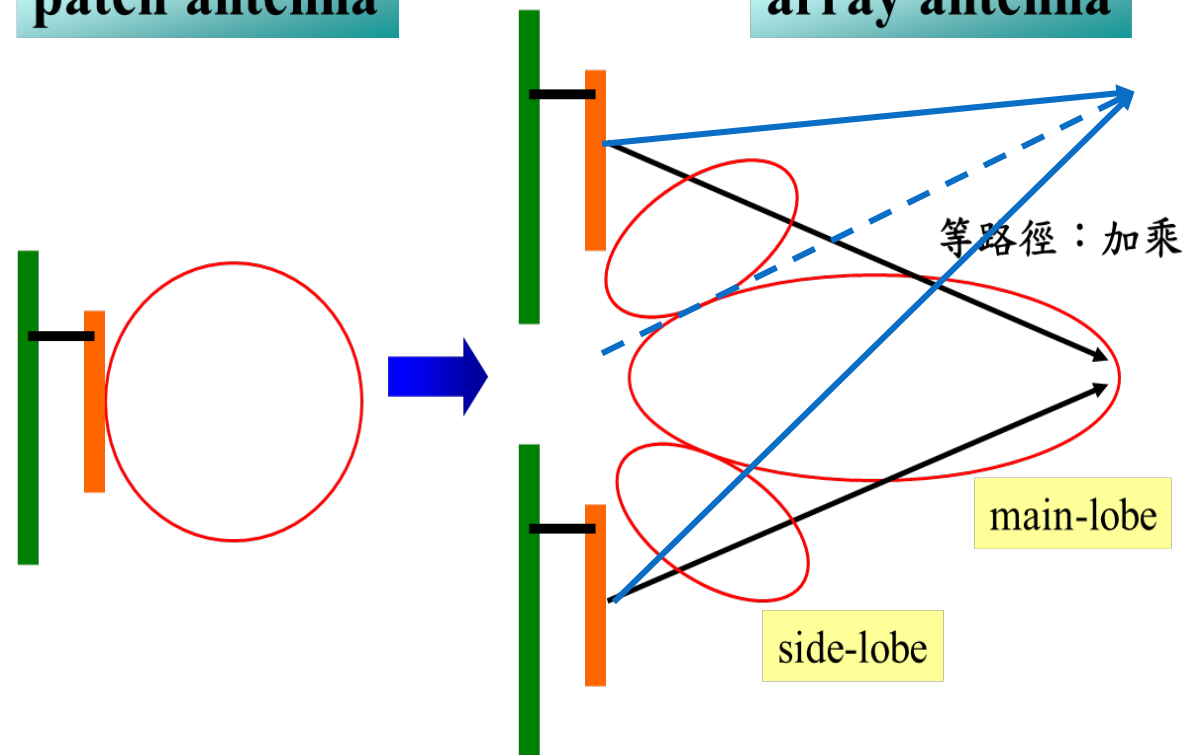
波束成型基本原理-相控陣列

輻射相位!!



patch antenna

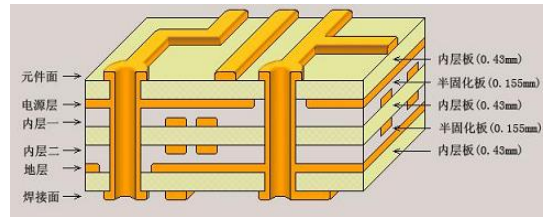
array antenna



天線假設為理想點波源!?

挑戰一：電路板設計

商機：
電路板、天線設計、測量



Dk/Df

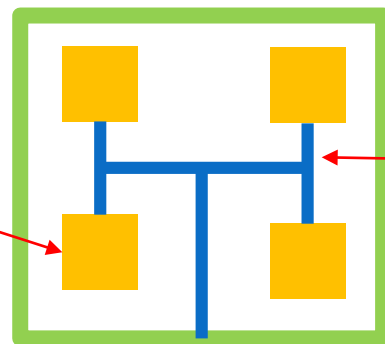
→ 材料/製程影響

→ 不是常數 (高頻/寬頻)

多層堆疊

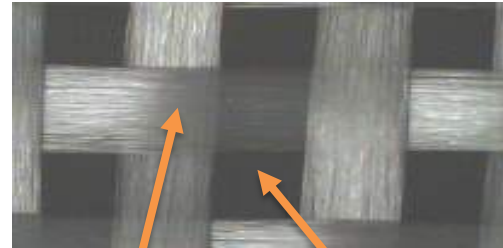
→ 厚度也要考量

每個天線特性不同



Insertion Loss

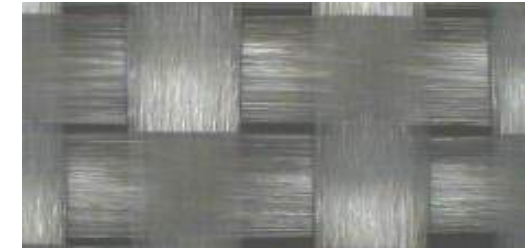
Original glass fabric



Higher Dk

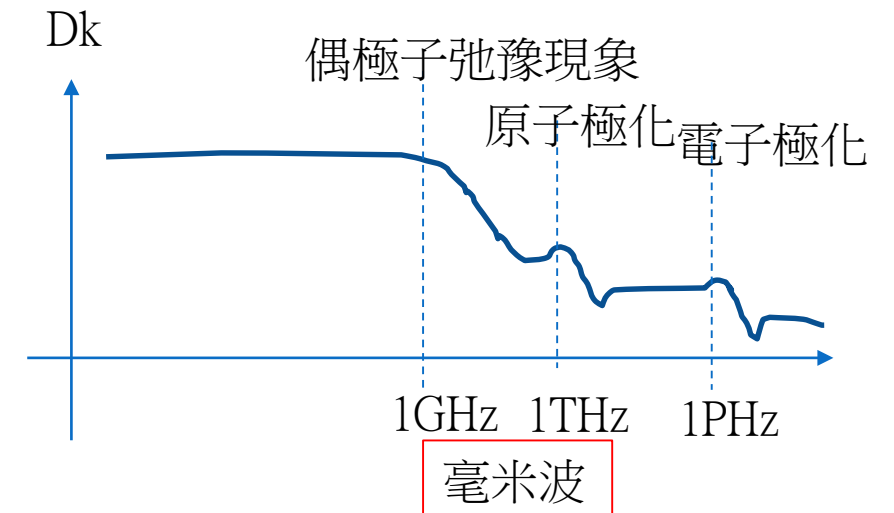
Lower Dk

Spread glass fabric



Uniform Dk , Anti-CAF Performance

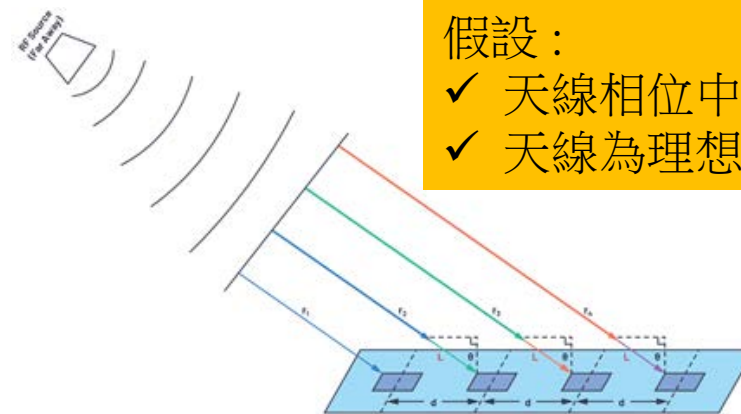
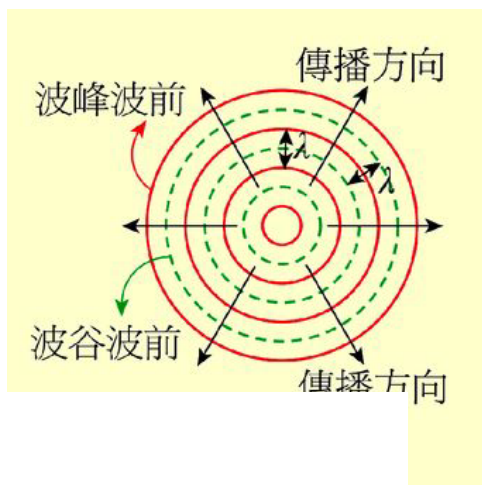
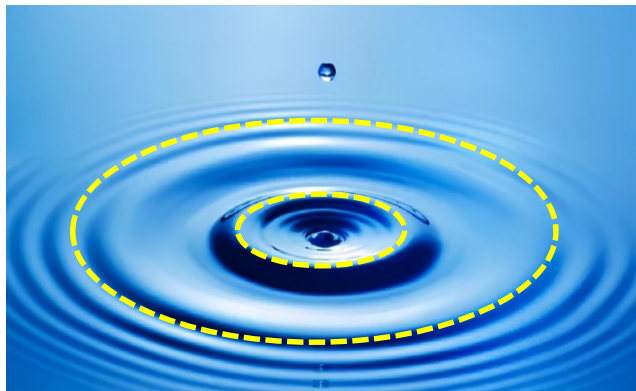
材料物理：



挑戰二：相位校正

商機：
天線設計、測量

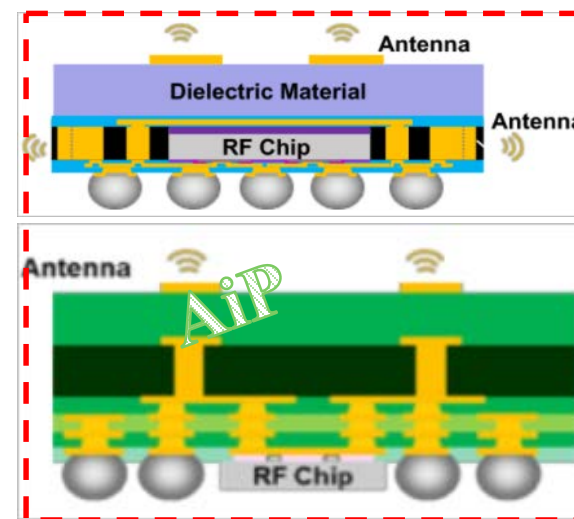
相位中心(Phase Center)



Reference : <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/phased-array-antenna-patterns-part1.html>

假設：
✓ 天線相位中心與物理中心重合
✓ 天線為理想點波源/球面波

台積電封測方案



日月光封測方案

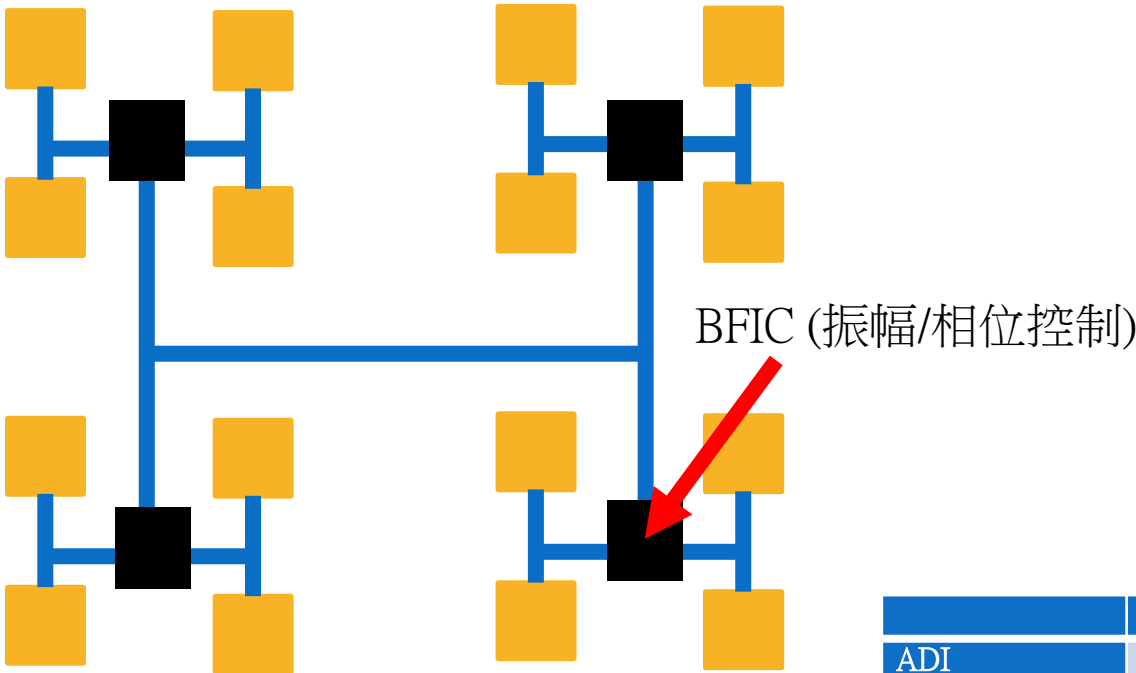
校正項目：

- ❑ BFIC conductive
- ❑ 天線板(相位中心)
- ❑ 封裝差異

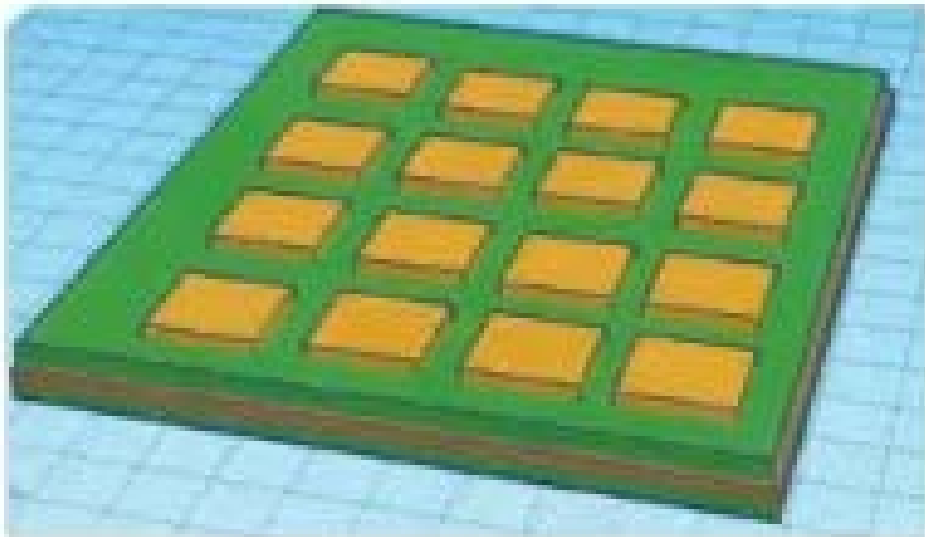
挑戰三：BFIC應用

商機：
射頻IC、天線設計、環測

參考資料來源
<https://www.analog.com/cn/education/education-library/webcasts/advances-in-phased-array-analog-beamforming-solutions.html>



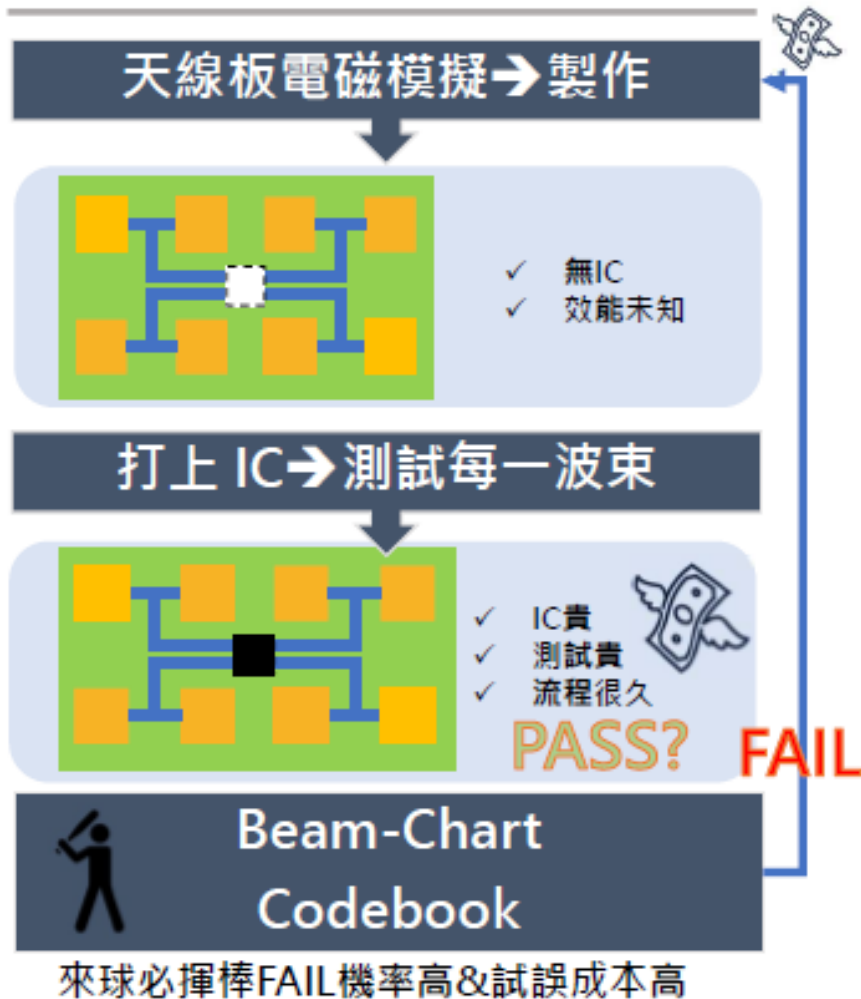
IC成本/穩定性(熱)/Debug??



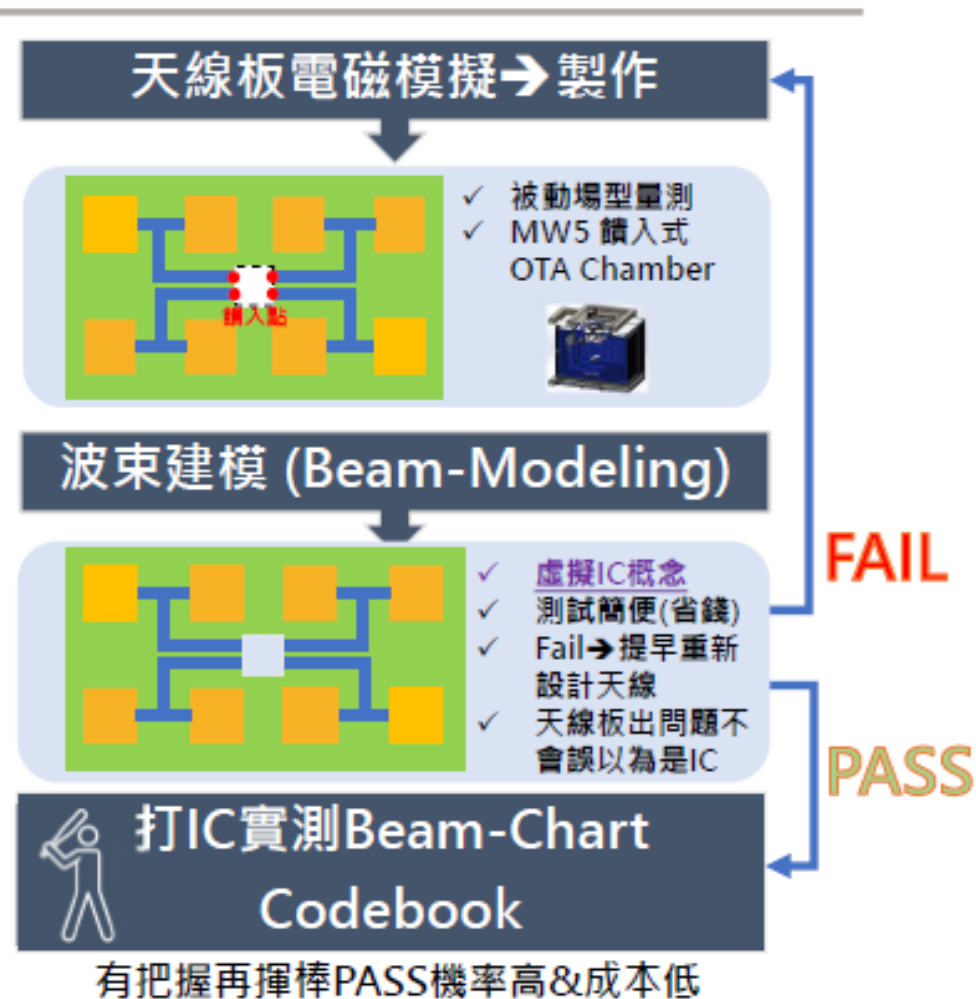
	phase shifter	BFIC
ADI	bit數太少 頻段對於 LEO應用不完整	--
Qorvo	有28-32 GHz，但LEO 27.5-29.5 GHz沒辦法用	--
Anokiwave	--	直接以BFIC呈現 對於LEO衛星應用頻段最完整 有對應LEO的BFIC
RENESAS	--	F6212=>17.7-21.2 GHz F6522=>27.5-31.0 GHz

波束成型設計實務 – Beam Modeling

目前AiP研發流程

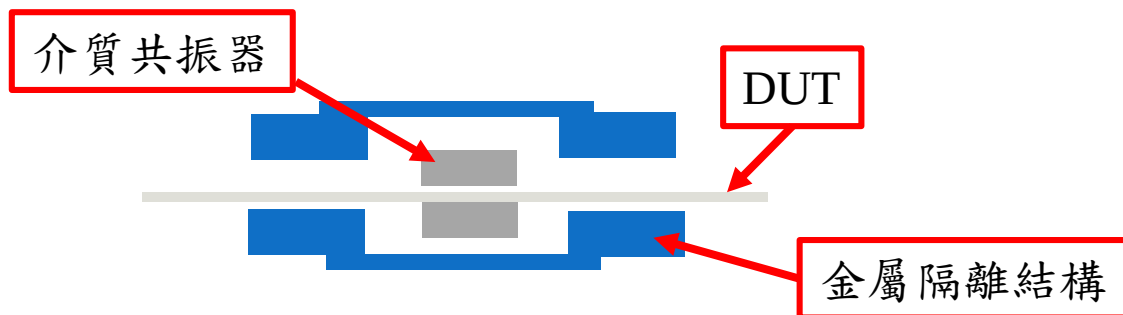


波束建模AiP研發流程

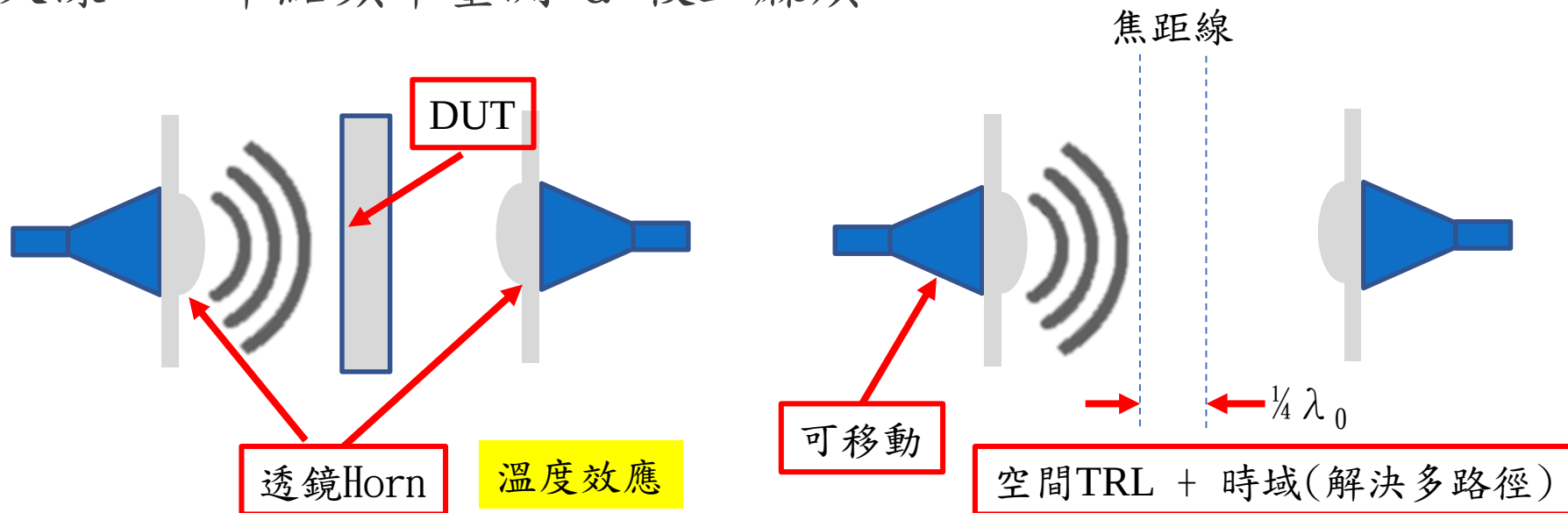


Dk/Df量測-昔知方式

□ 分離式介質共振器 不適用於毫米波



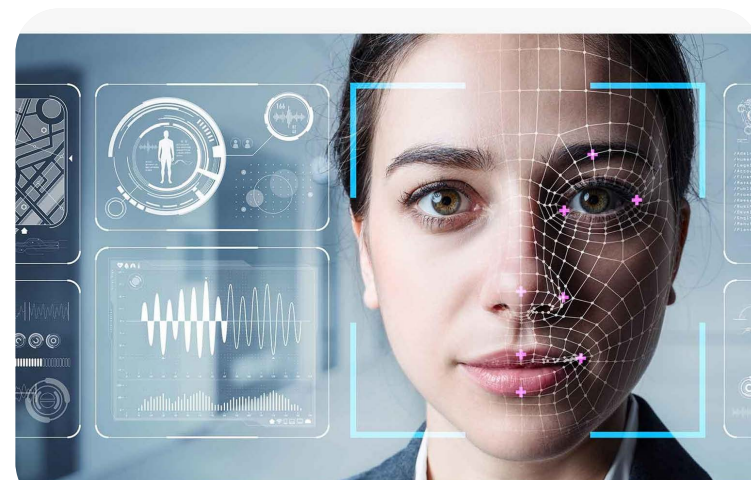
□ 透鏡天線 單點頻率量測 & 校正麻煩



鍾郁翔同學/Digit Talent

<https://www.digitalent.org.tw/zh-tw>

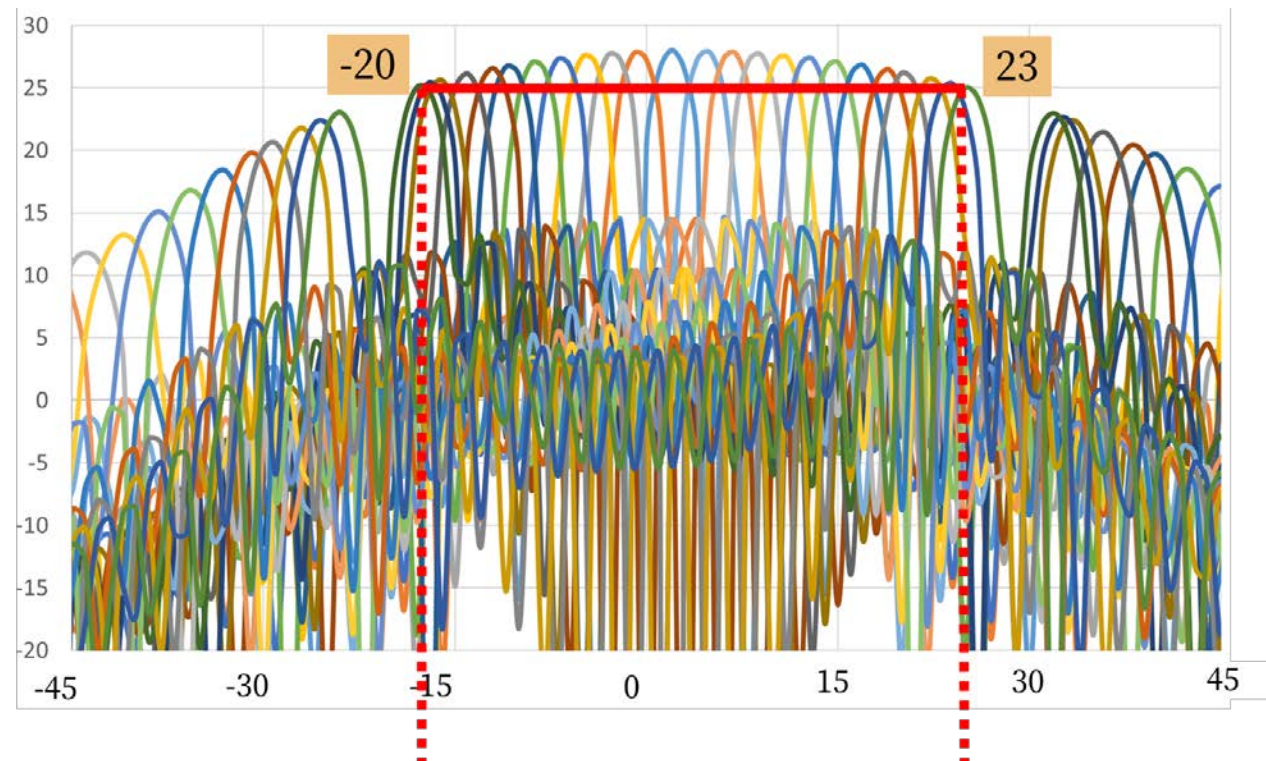
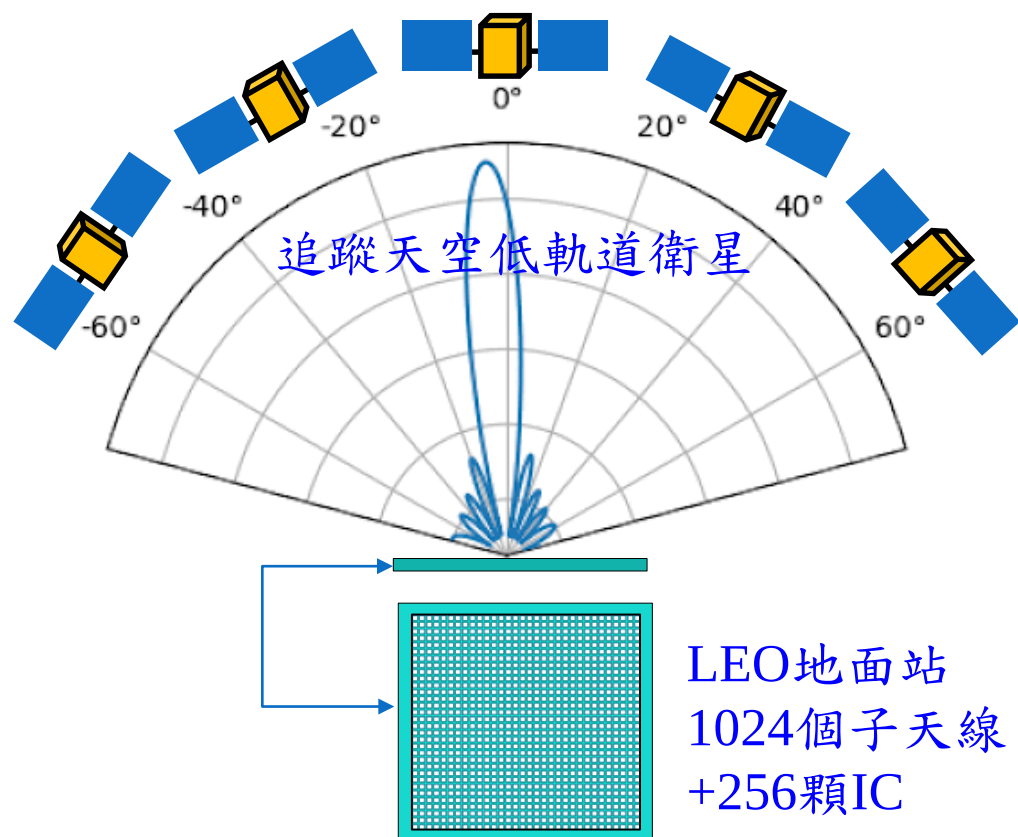
找出關鍵特徵



- 90 degree Rotation
- 90 degree Phase Shift
- Equal Amplitude
- Each Separated by $1 * \lambda$ in Free Space
- 待測物厚度 1 mm，底部高度 $0.25 * \lambda$
- Left Hand Circularly Polarized

<https://www.youtube.com/watch?v=4lhOGa4m9Cs&t=121s>

追星



波束成形演算法!!

李冠霆同學/5G jump

<https://www.5g-jump.org.tw/zh-tw>

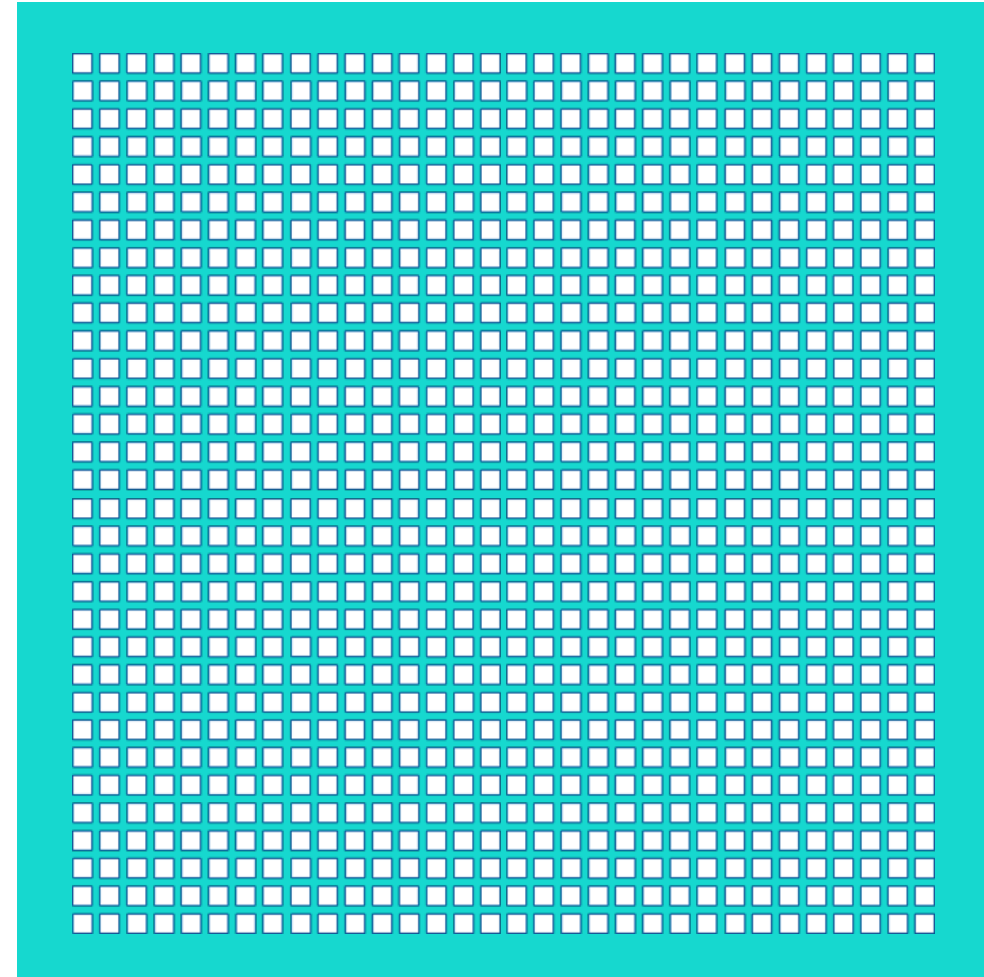
32*32 Array

32

挑戰：

- 圓極化軸比頻寬
- IC成本 ($1024/4 = 256\text{pcs}$)
- 增益及涵蓋範圍分析
- 設計時間

32



<https://www.youtube.com/watch?v=dyJ9u80Ym6M&t=5s>

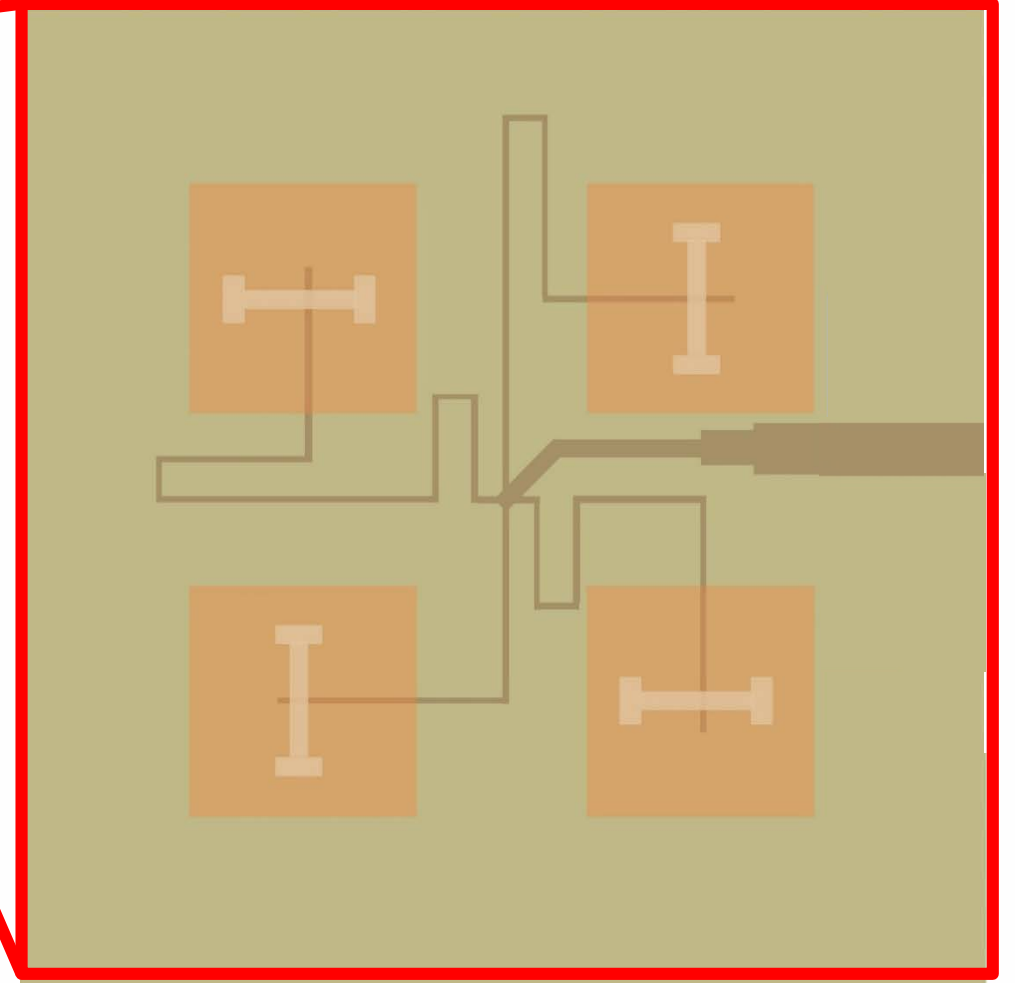
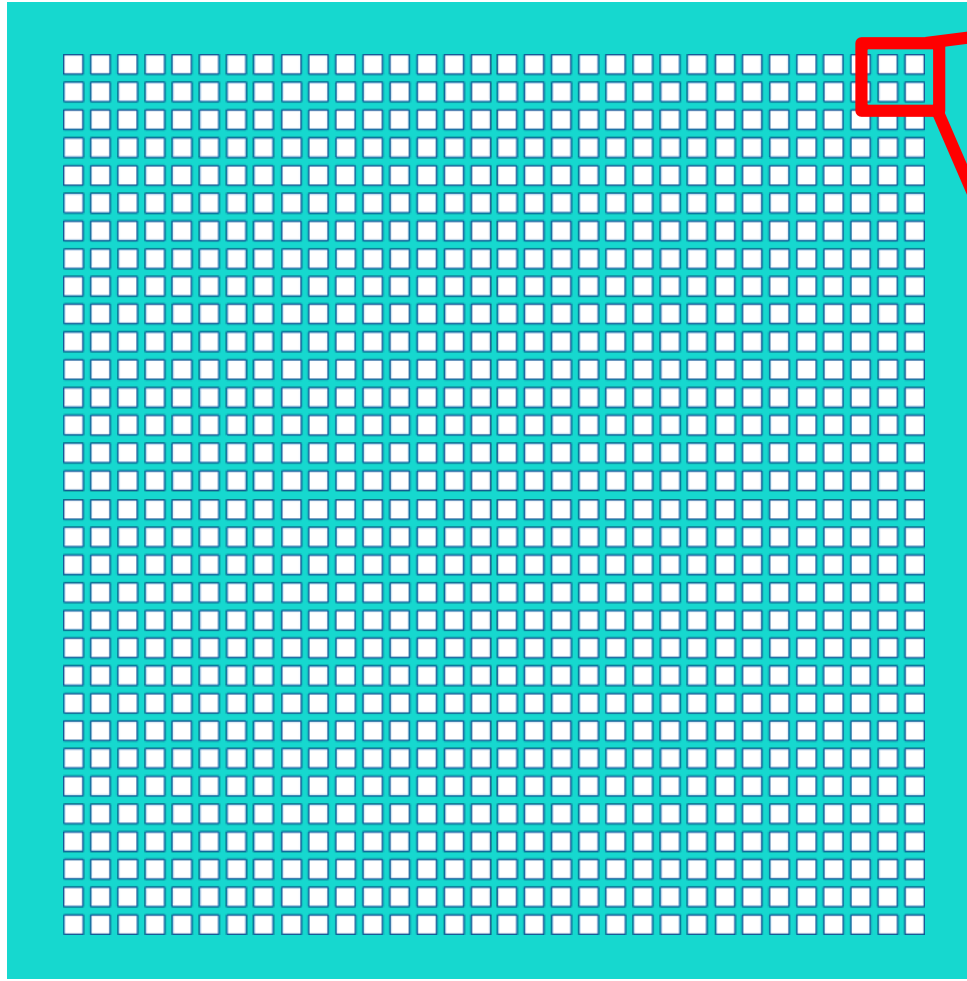
IC : $1024/4 = 256\text{pcs}$

天線結構

Gain/coverage → beam-Modeling
Loss → H couple + air substrate → $Dk=1$

32

32



IC : $1024/4 = 256\text{pcs}$

BFIC 規劃

Gain/coverage → beam-Modeling

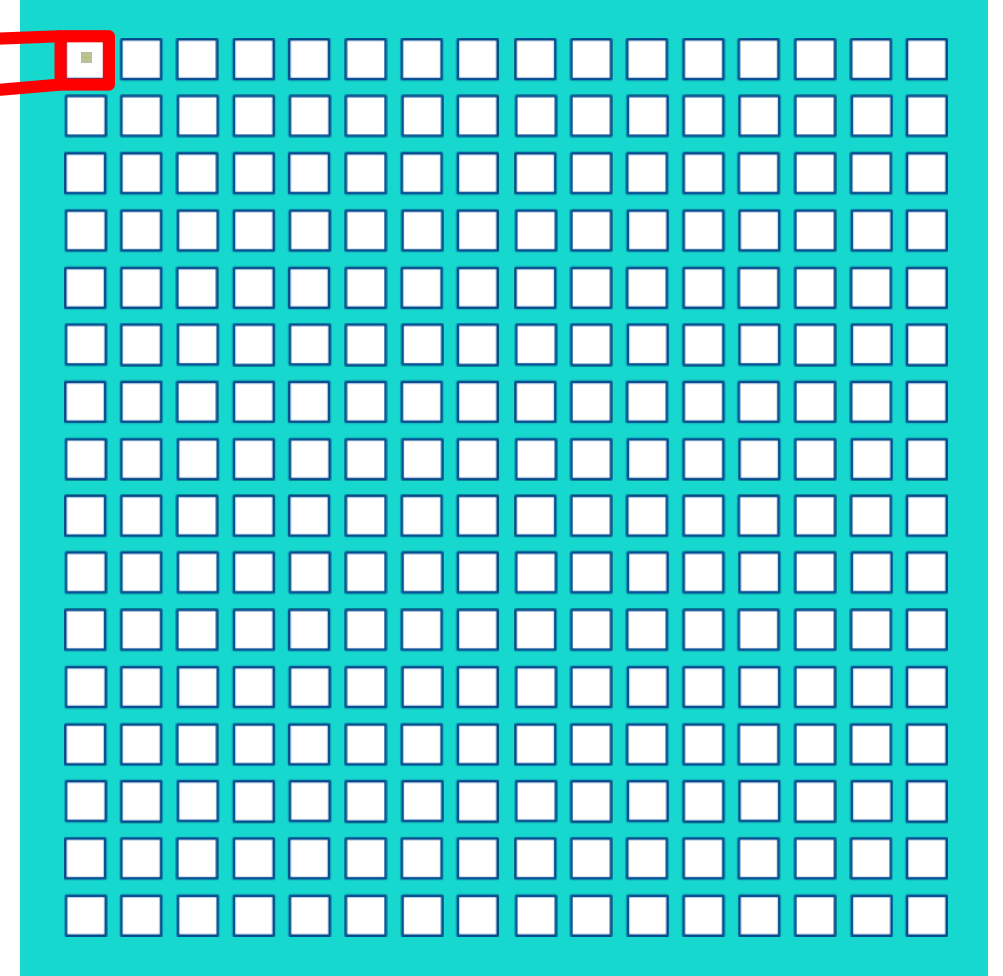
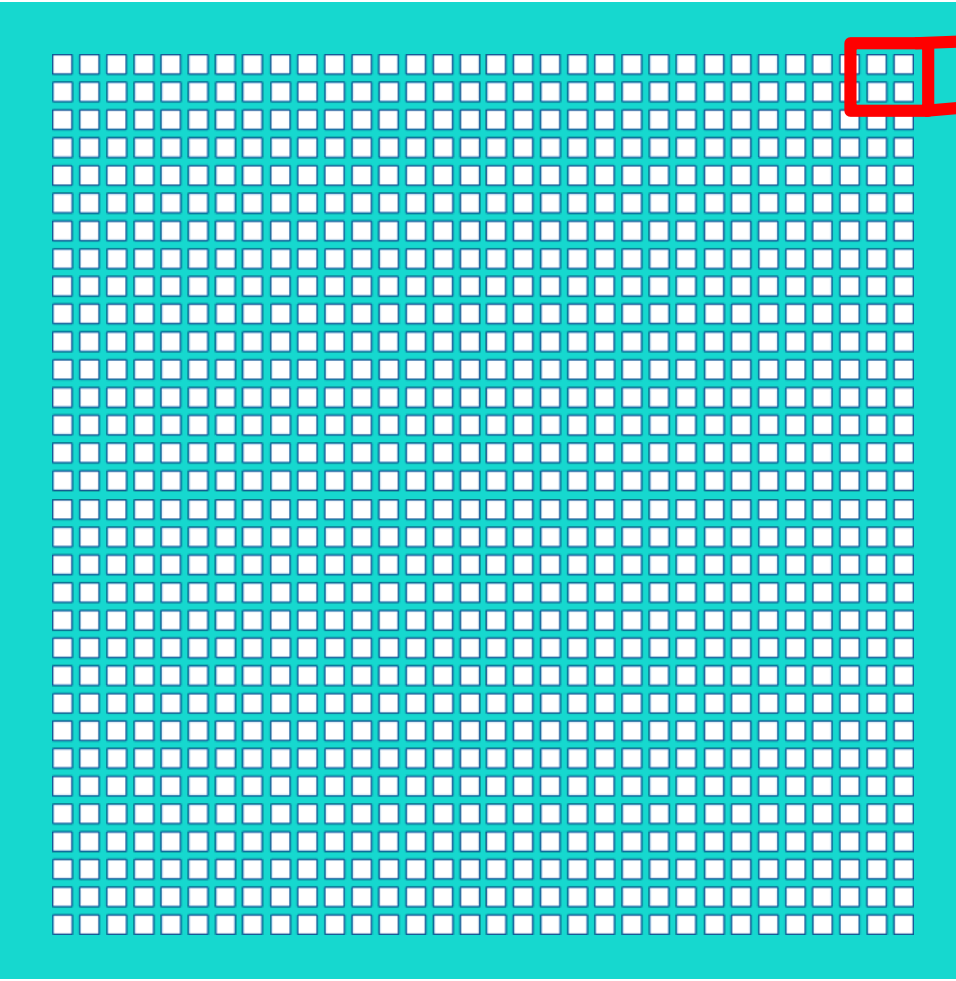
Loss → H couple + air substrate → Dk=1

32

16

32

16



IC : $1024/4 = 256\text{pcs}$

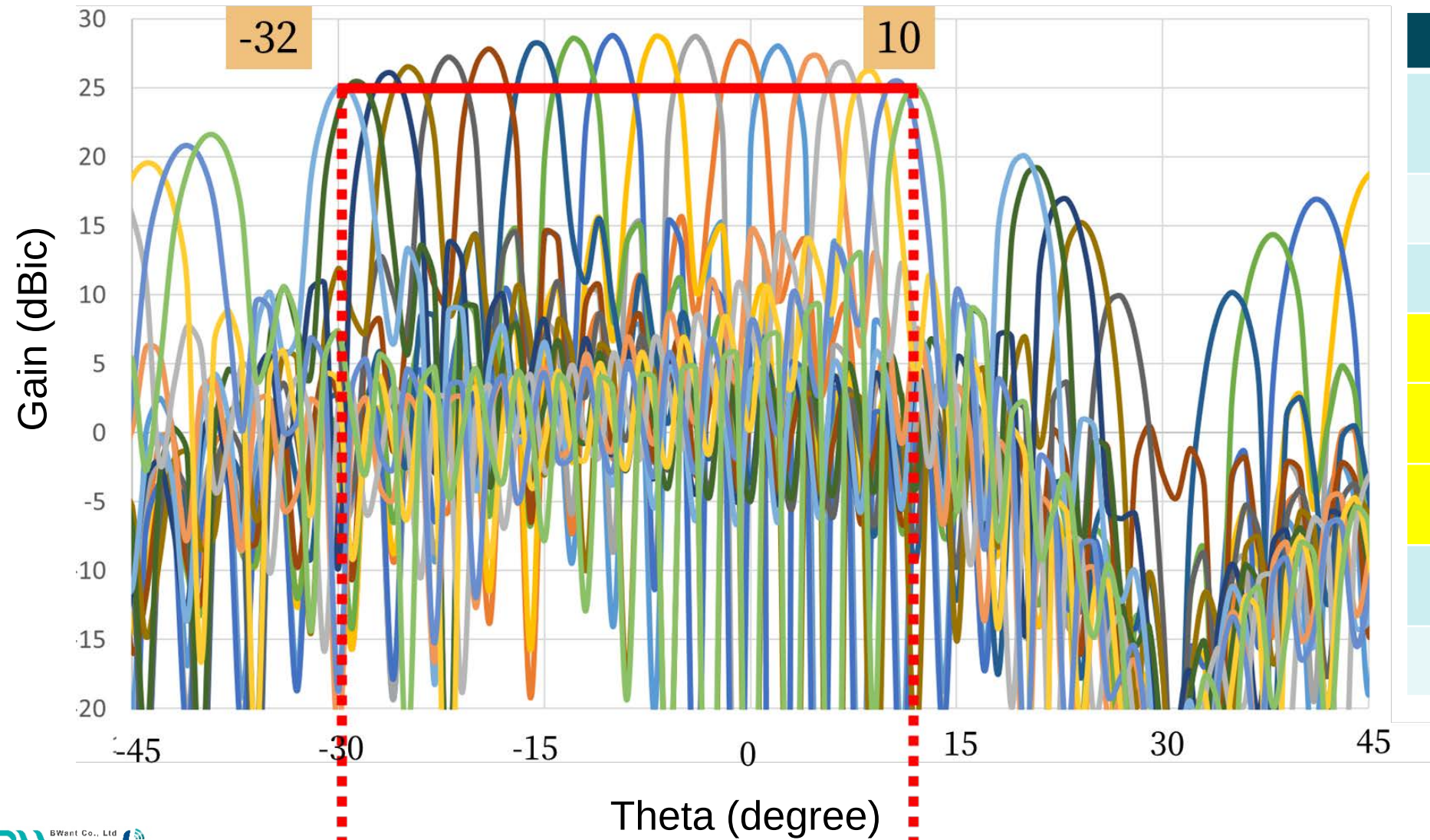
IC : $256/4 = 64\text{pcs}$

涵蓋範圍分析-XZ plane

Coverage: $42/180=23.3\%$

$f=12.8\text{GHz}$

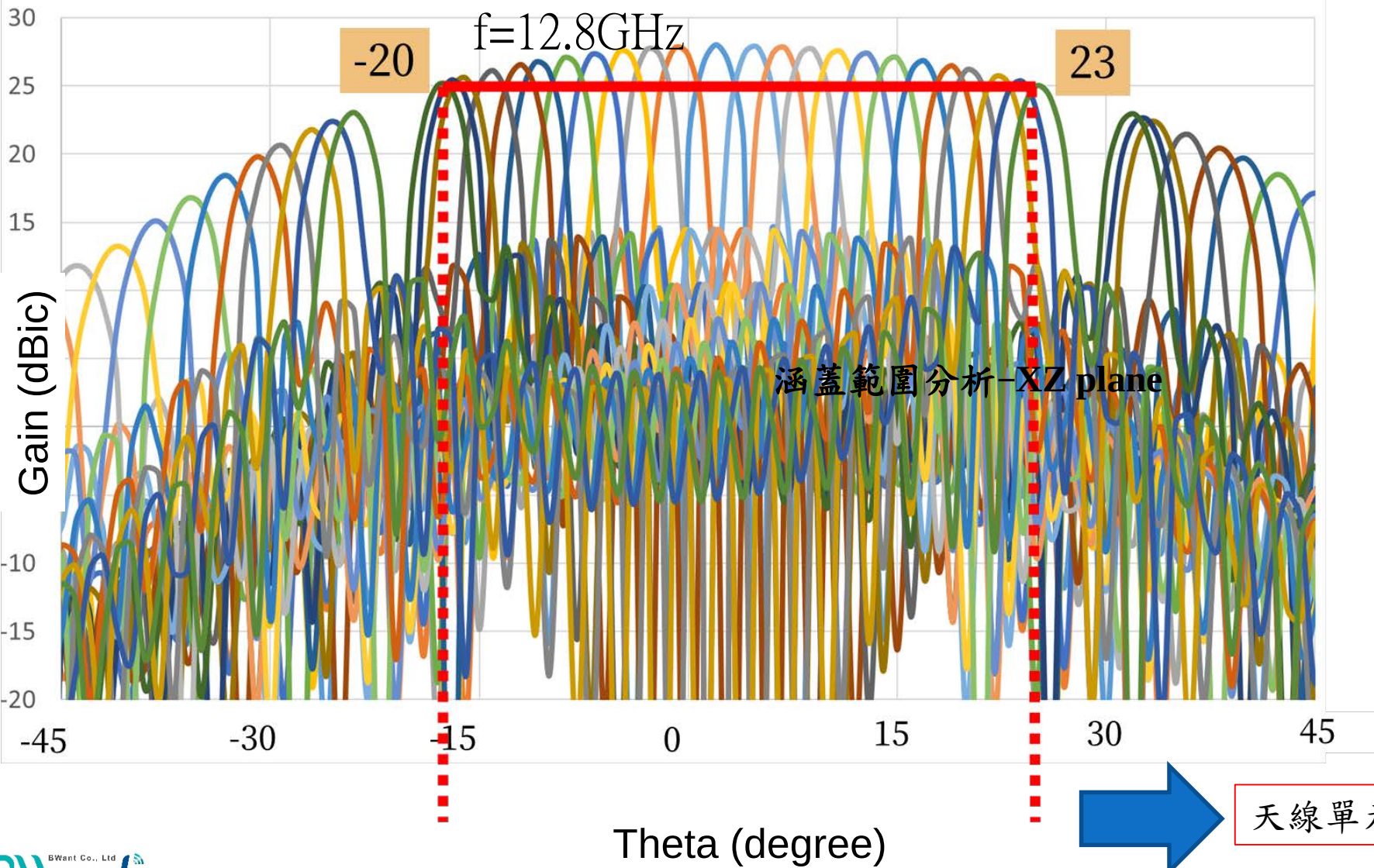
32*32 : 增加30dB => Ant ~ -2dBi



Input phase: 0 degree	
Angle (deg)	2D Gain (dBic)
-3	-39.78
-2	20.68
-1	26.55
0	28.03
1	26.19
2	19.97
3	-40.84

涵蓋範圍分析-YZ plane

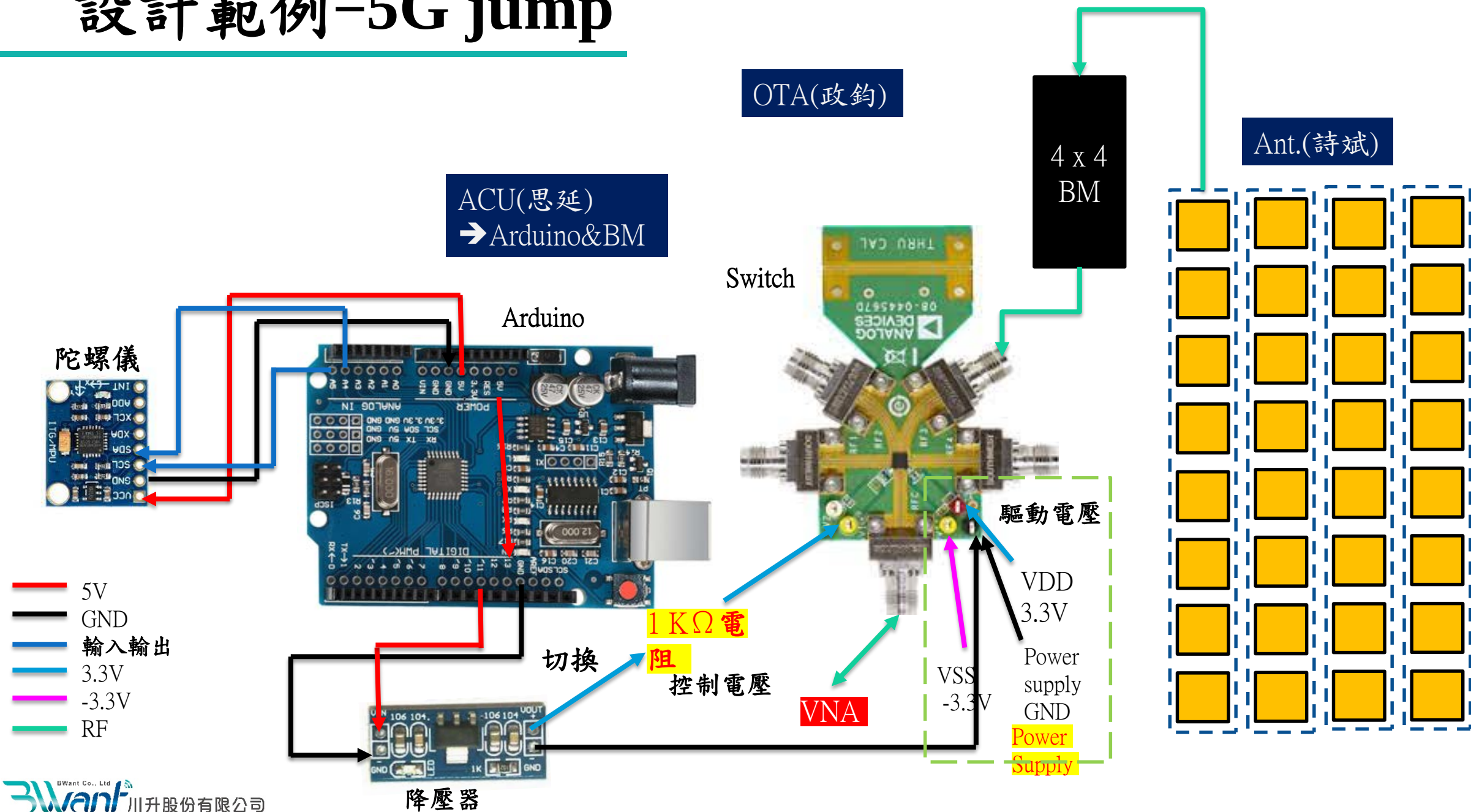
Coverage: $43/180=23.9\%$



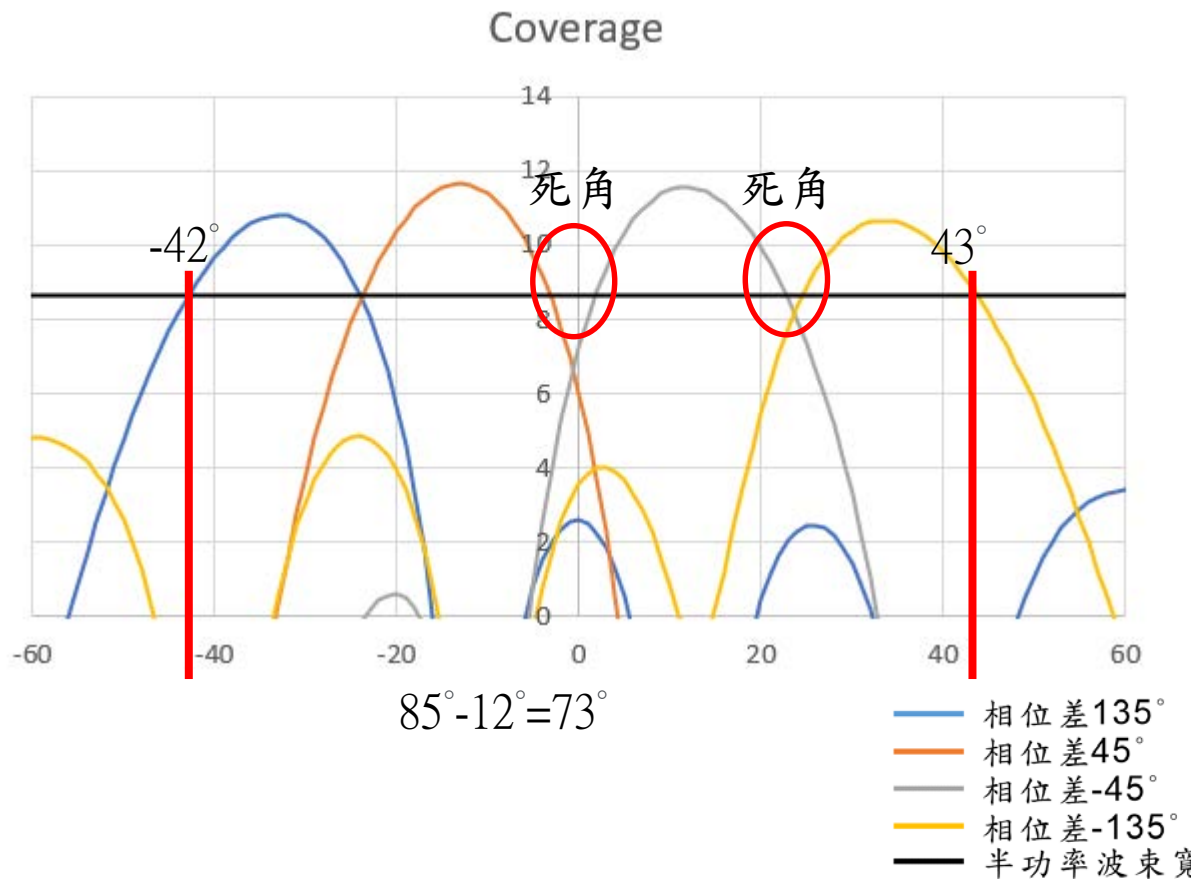
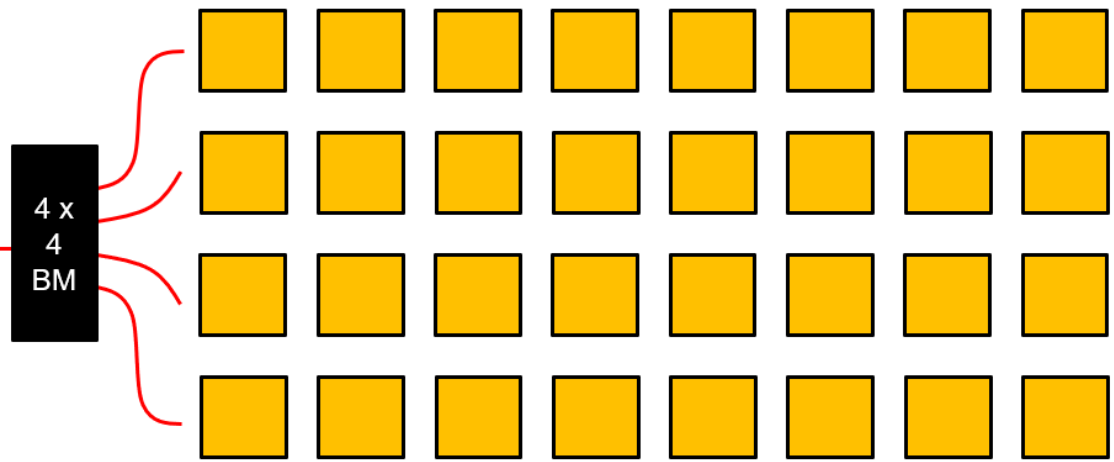
Input phase 65 degree	
Angle (deg)	2D Gain (dBic)
-12	4.83
-11	16.37
-10	24.46
-9	27.26
-8	26.77
-7	22.60
-6	9.37

天線單元、空間、時間排列最佳化!!

設計範例-5G jump



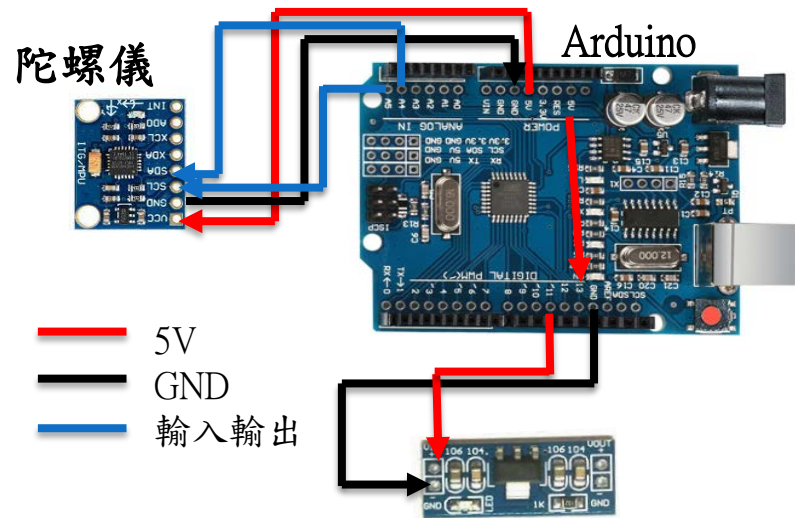
張詩彬同學 / 5G jump



該如何改善覆蓋率不足?

f = 11.5 GHz	波束角度	增益
相位差 135°	-34°	10.79 dBi
相位差 45°	-15°	11.57 dBi
相位差 -45°	14°	11.65 dBi
相位差 -135°	33°	10.67 dBi

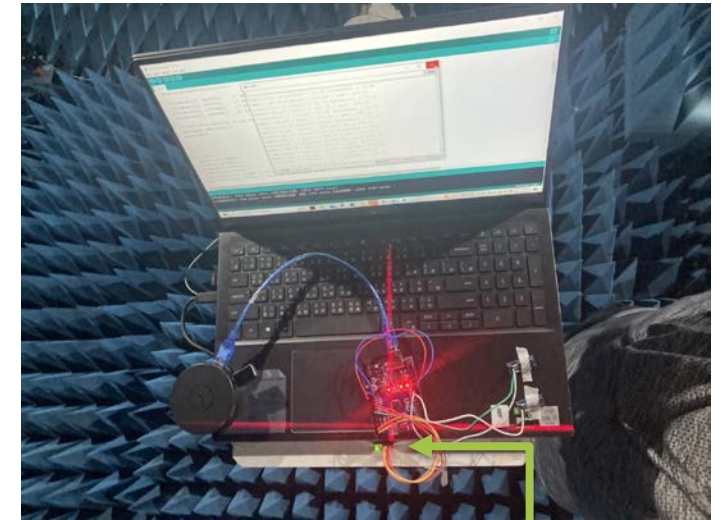
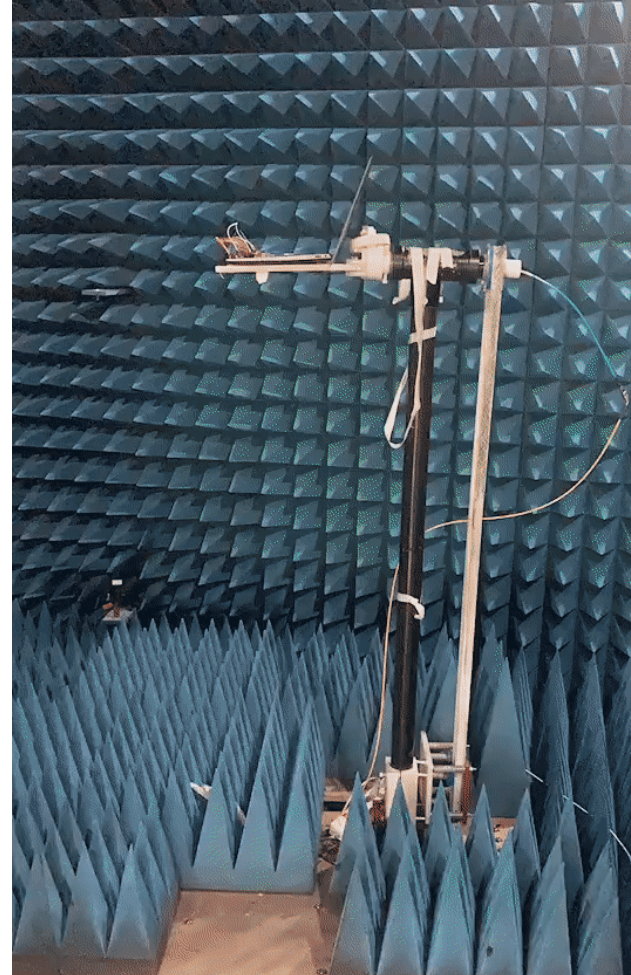
林思延同學/5G jump



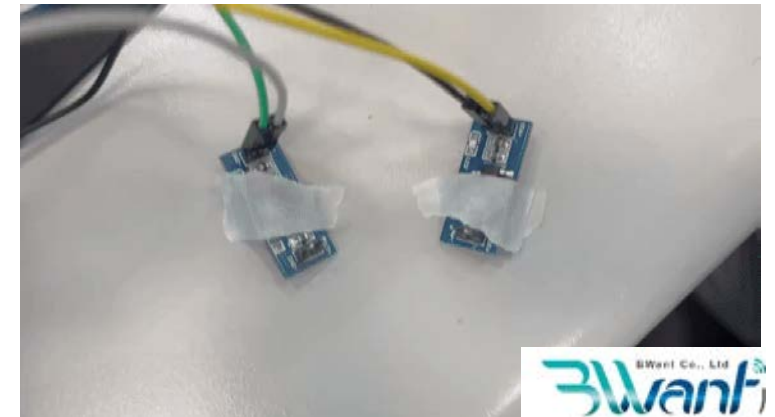
```
Temperature in celsius = 26.69 fahrenheit = 80.05  
yaw = -9.88  
  
mode = 1  
Temperature in celsius = 26.74 fahrenheit = 80.14  
yaw = -10.08  
  
mode = 1  
Temperature in celsius = 26.60 fahrenheit = 79.88  
yaw = -10.60  
  
mode = 1  
Temperature in celsius = 26.65 fahrenheit = 79.97  
yaw = -12.62
```

☒ 自動捲動 ☐ Show timestamp

NL(newline)



陀螺儀

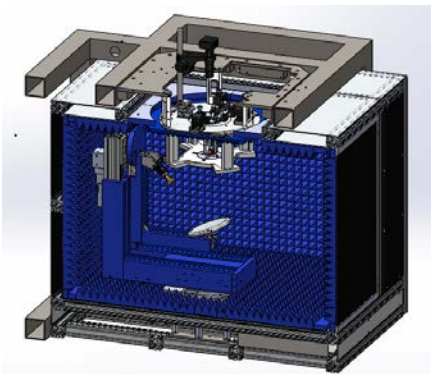


BWant Co., Ltd
3Want

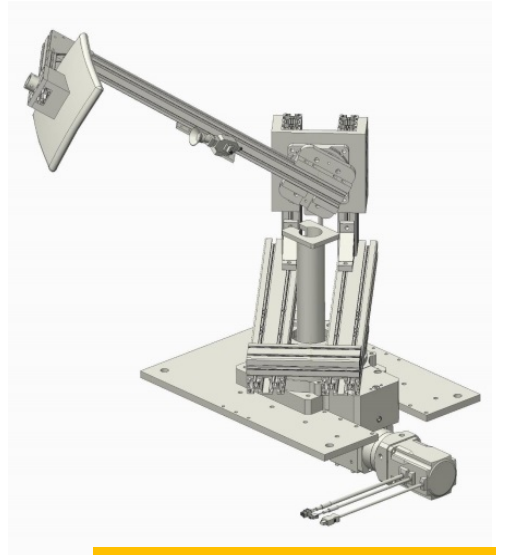
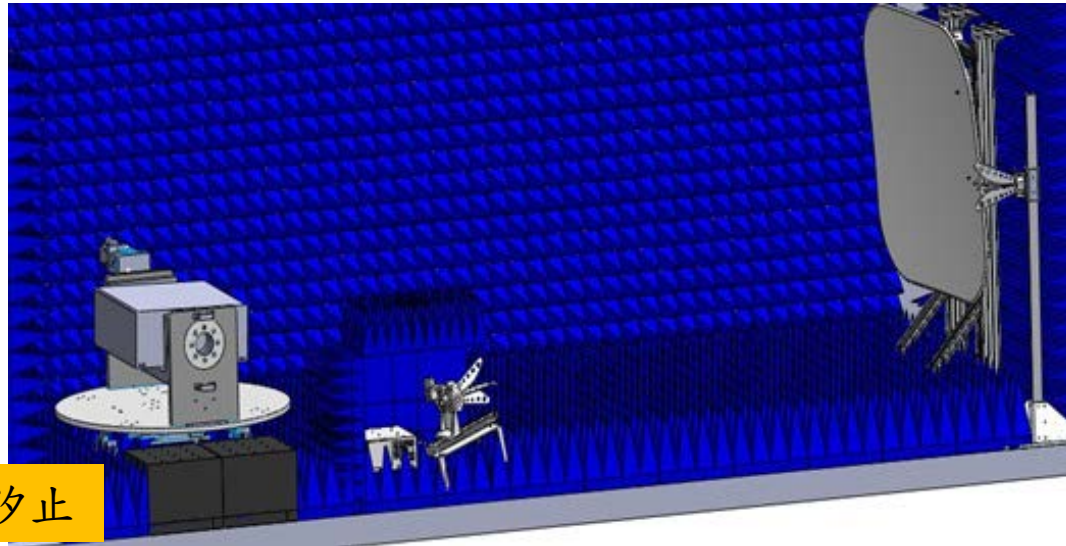
大綱

- 低軌衛星概述 – What? Why?
- 波束成型天線設計&大數據應用 – How?
- 天線量測方式介紹&大數據應用 – How?
- 結論

連騰/鎡寶/UBNT/川升內湖&汐止



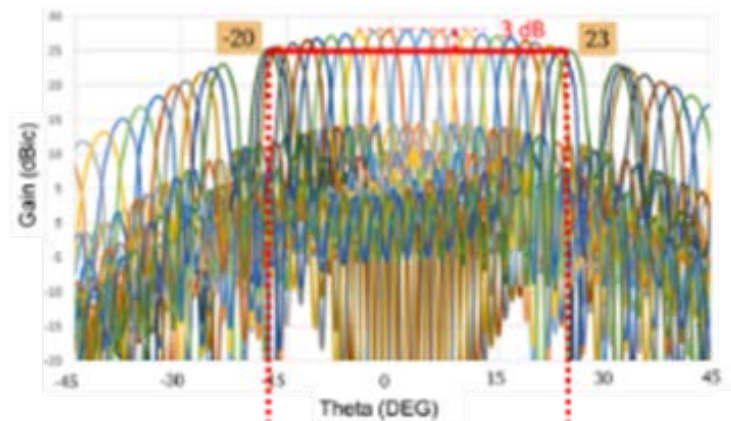
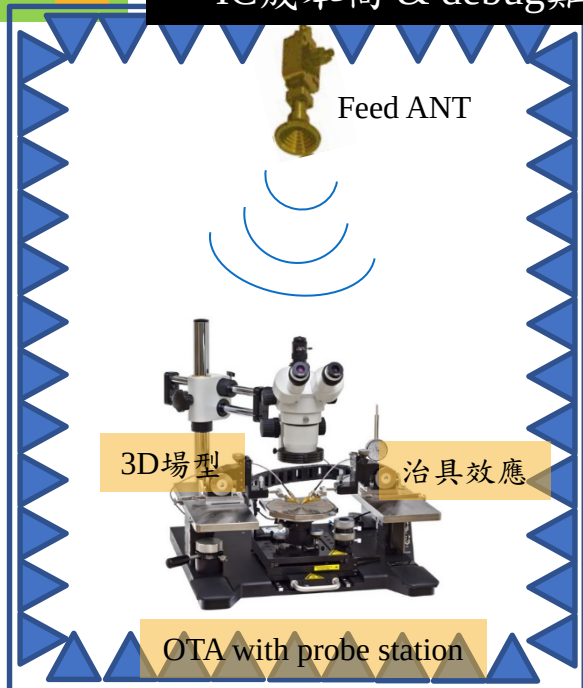
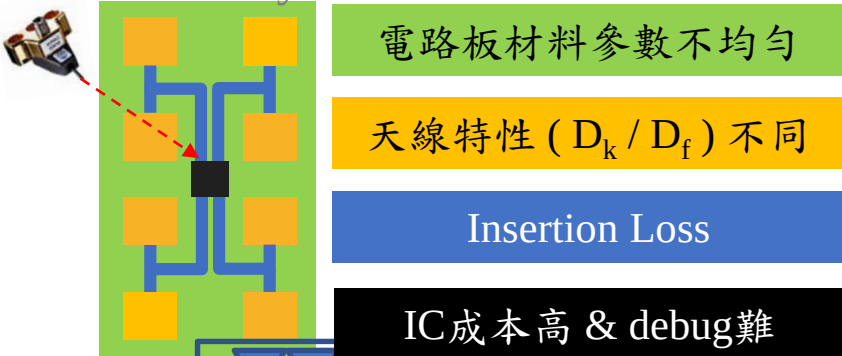
聯發科/嘉聯益/至高頻/川升高雄&汐止



高科大/川升汐止

三大量測挑戰

Sub-array

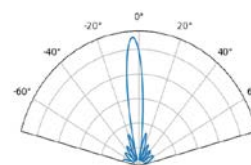


整天線模組量測挑戰：

- 大的靜區 (QZ) 要求
- 衛星通訊圓極化量測
- 追星~3D場型必須
- 環境干擾~5G共存 & G/T

32 × 32
array

- ✓ 大QZ： $0.5\lambda_0 \times 33 = 16.5\lambda_0 \rightarrow$ CATR
- ✓ NF to FF OTA：需要相位進行計算 $\rightarrow$ 毫米波量測相位相對誤差大 $\rightarrow$ 旋轉饋源天線+CATR
- ✓ 3D beam chart：DUT重量大 $\rightarrow$ 專用治具



LEO帶來的新挑戰-追星

- Doppler effect (速度)
- Handover (切換)

傳統環測箱無內建通訊測試

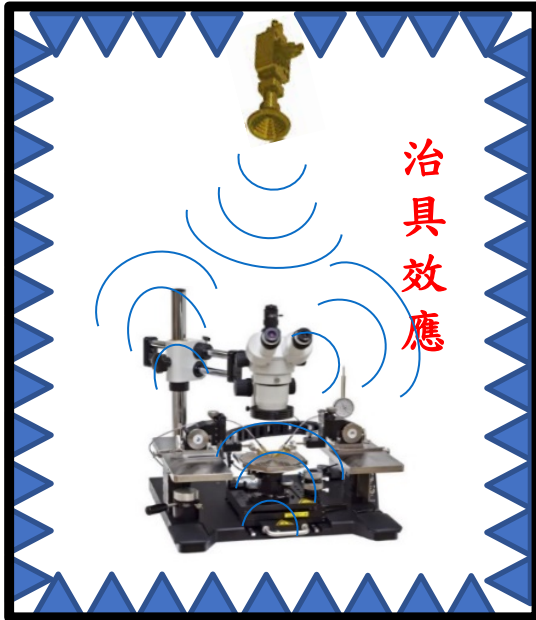
- 只確定模組沒壞
- 未納入通訊不中斷評估



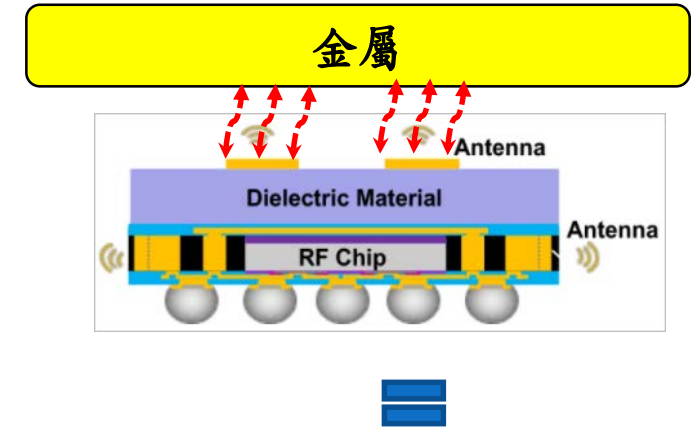
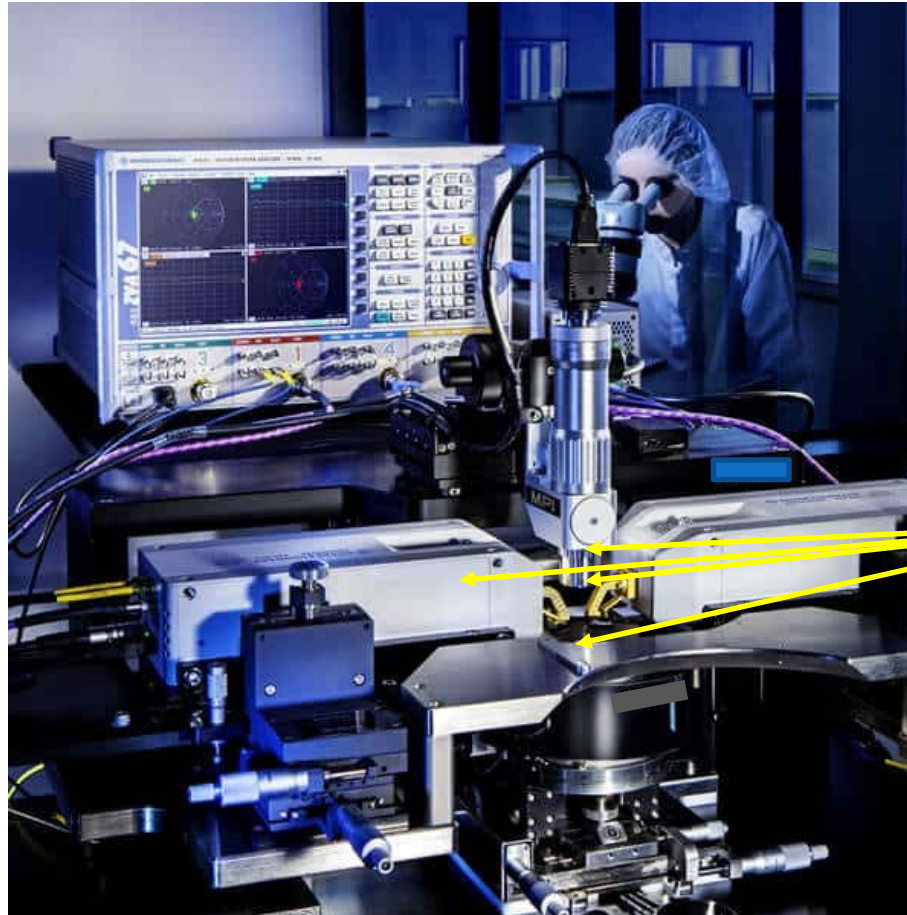
AiP設計與量測的挑戰

晶圓測試的思維開始...

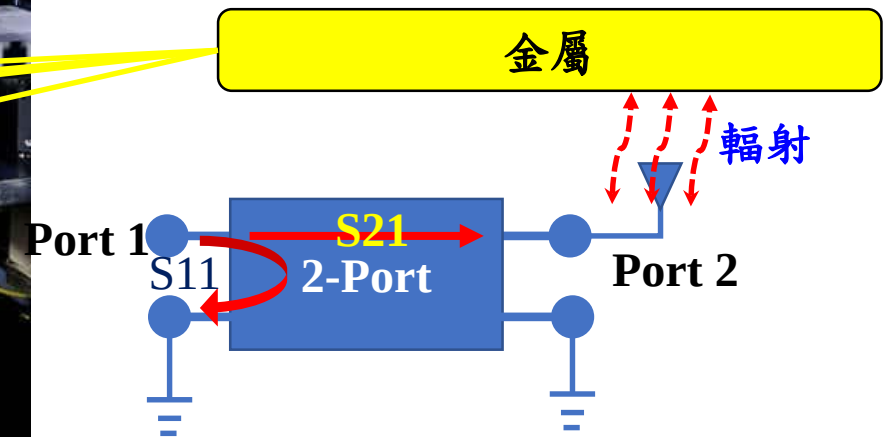
- 所有設備搬進暗室
- 外加horn antenna

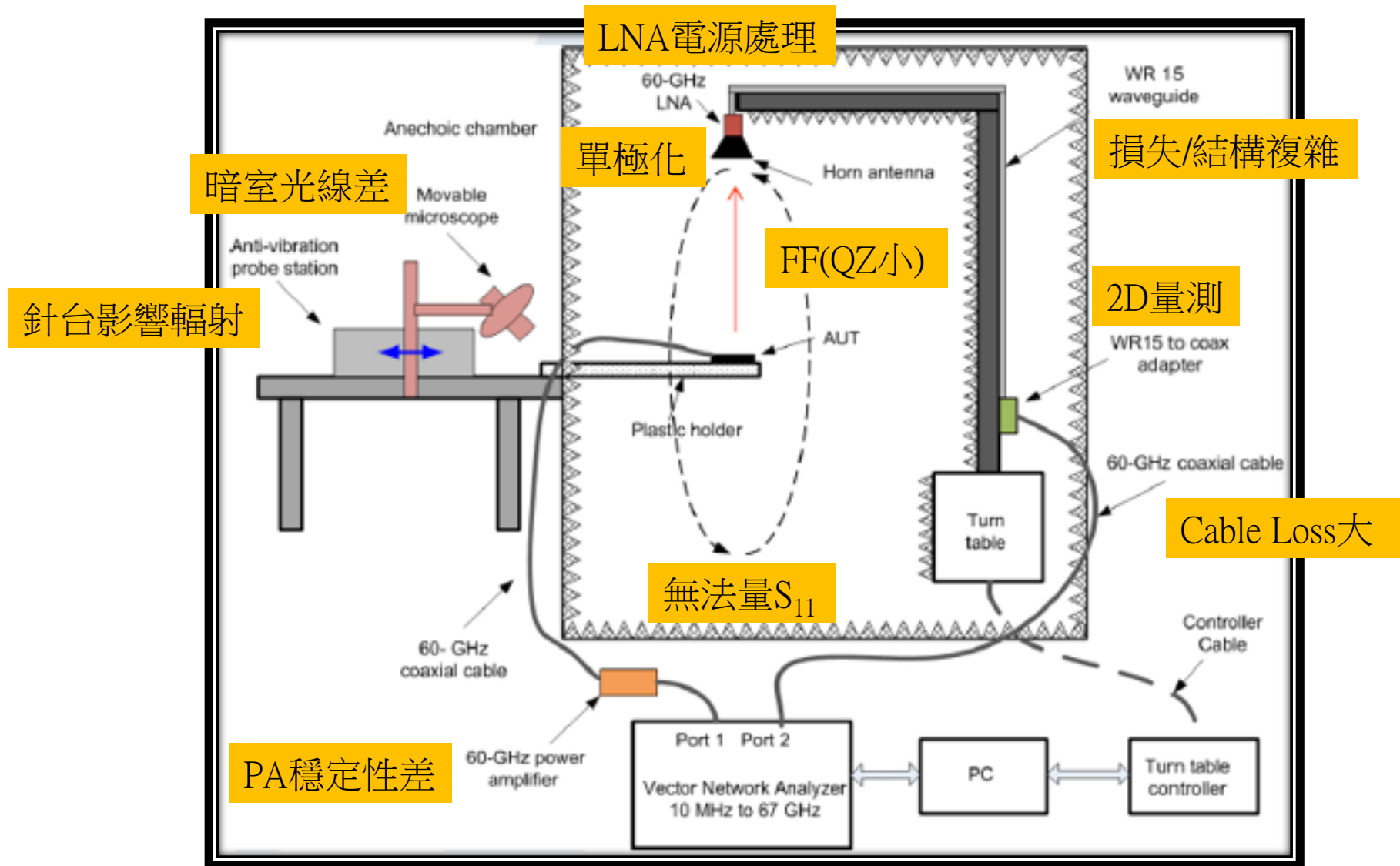


Probe station + OTA = Probing OTA



金屬反射/介質散射會顯著
干擾S參數量測的準確度





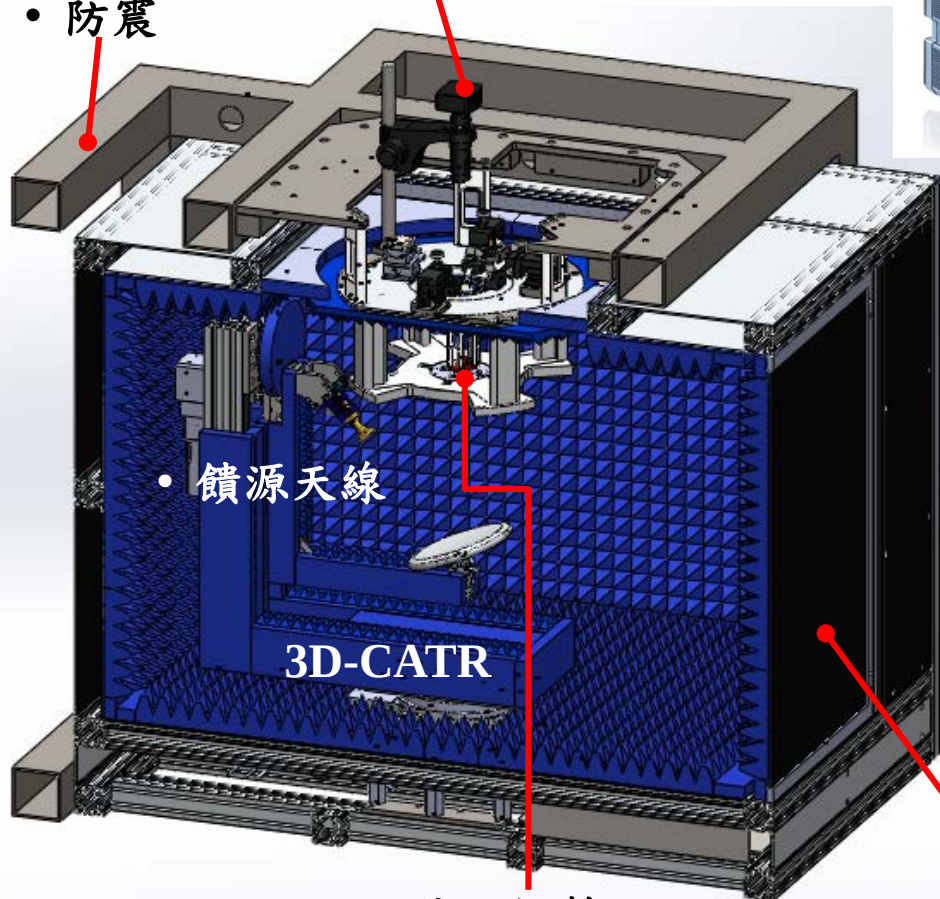
天線板測試 + IC模擬

<https://www.youtube.com/watch?v=yCvtjCpEPeA&t=48s>

MW5：探針饋入量測每一子天線的輻射場型

- 高解析度電子顯微鏡

- 防震

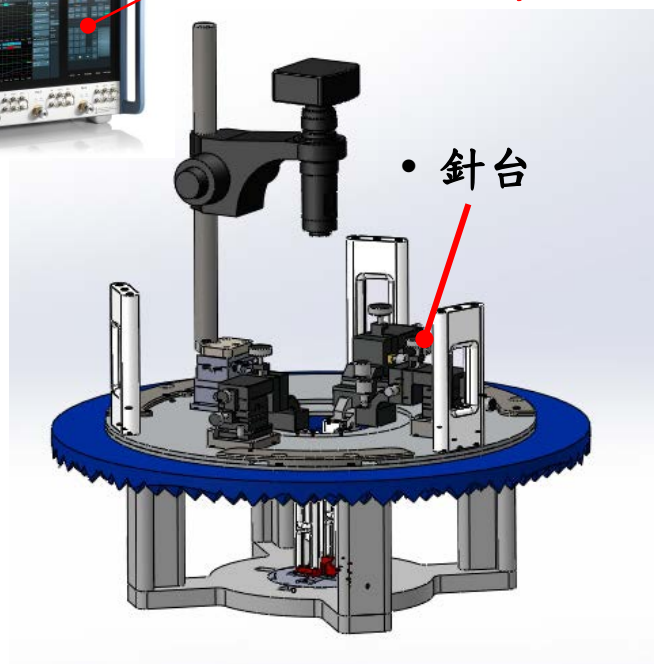


- 待測物製具

- 維護門



R&S@ZNA vector network analyzers



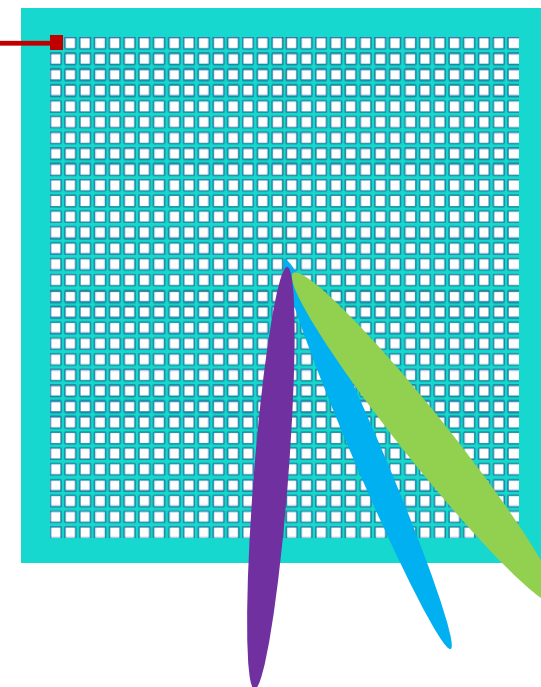
- 針台

設計考量

- ☐ 操作便利性
- ☐ 震動隔離
- ☐ 低干擾製具設計

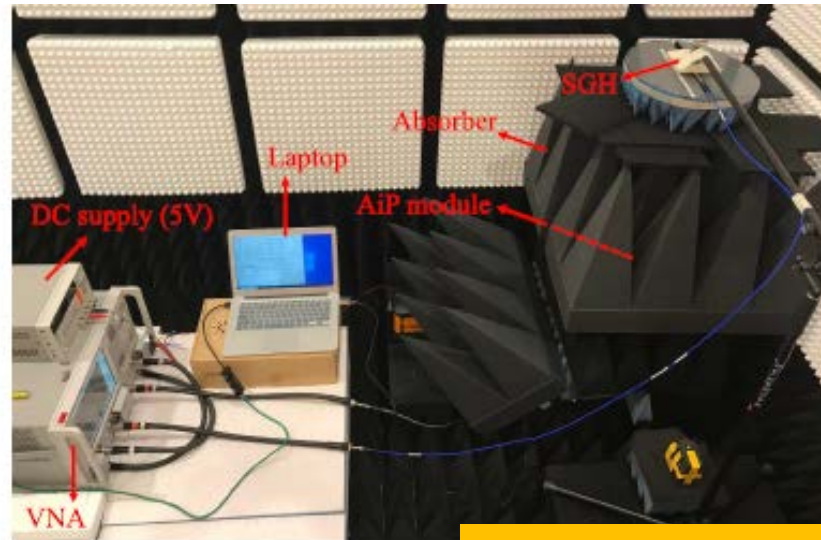
解決以下問題

1. IC成本高/性能難驗證
2. 天線板高頻性能驗證

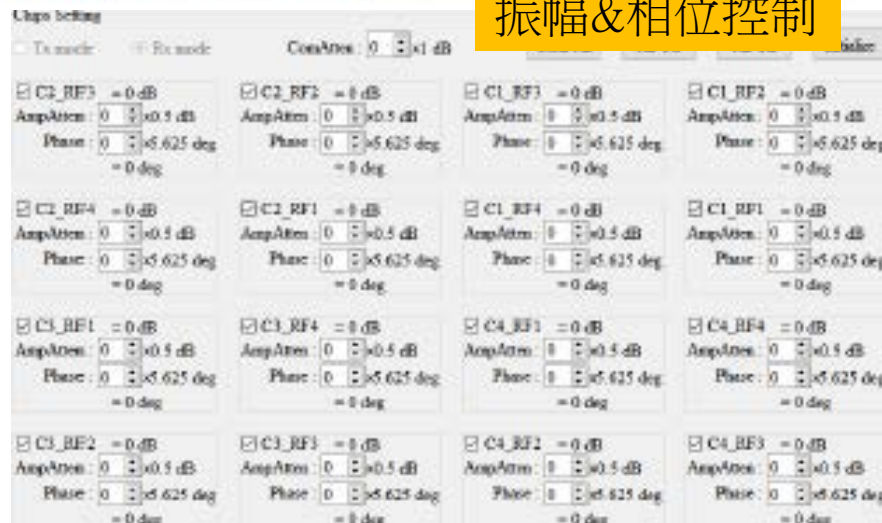


Beam-Modeling

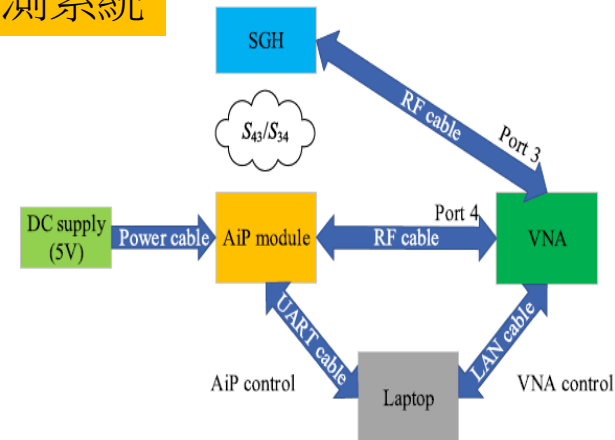
在尚未打IC前即可預估打IC後的波束，有效節省試誤成本



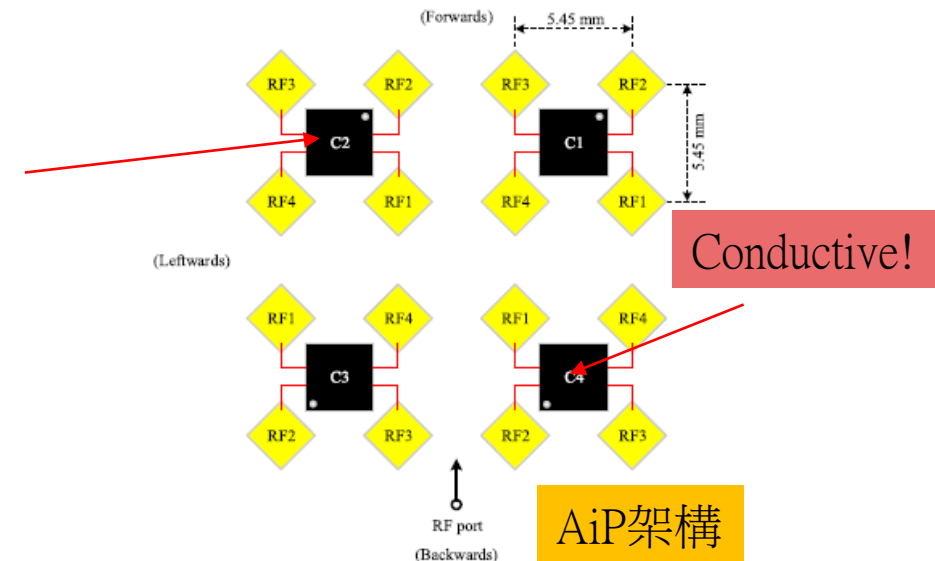
振幅&相位控制



量測系統



無法分析問題!!

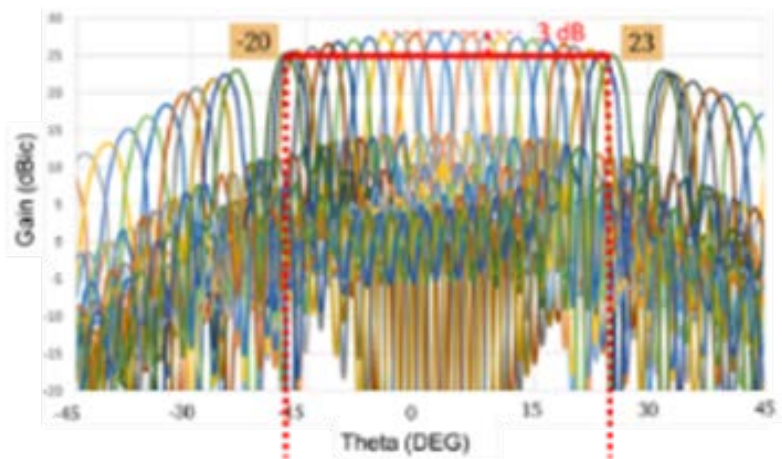


EIRP及相位調整 -MS10

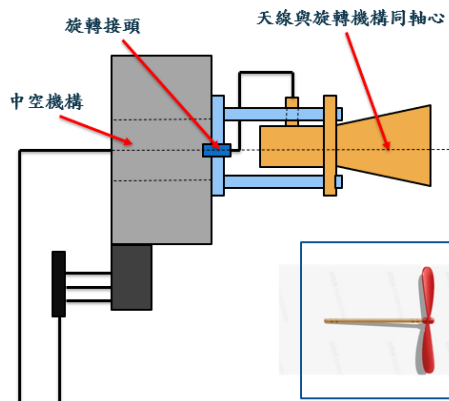
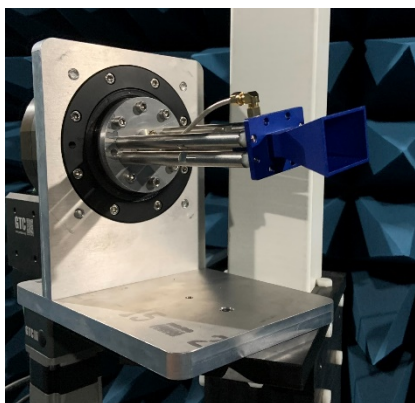
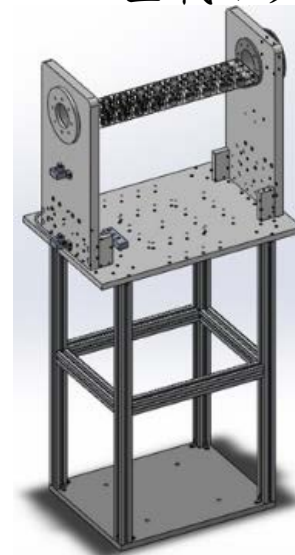
相控陣列天線挑戰與解法

- 量測靜區(Quiet Zone)大~**反射鏡**
- 圓極化性能驗證難~**旋轉饋源**
- 天線系統產品重~**治具拆換**
- 5G訊號干擾~**DFF+CATR**
- **3D CP Beam Chart**

Ripple Amp. → Beam Chart : CP

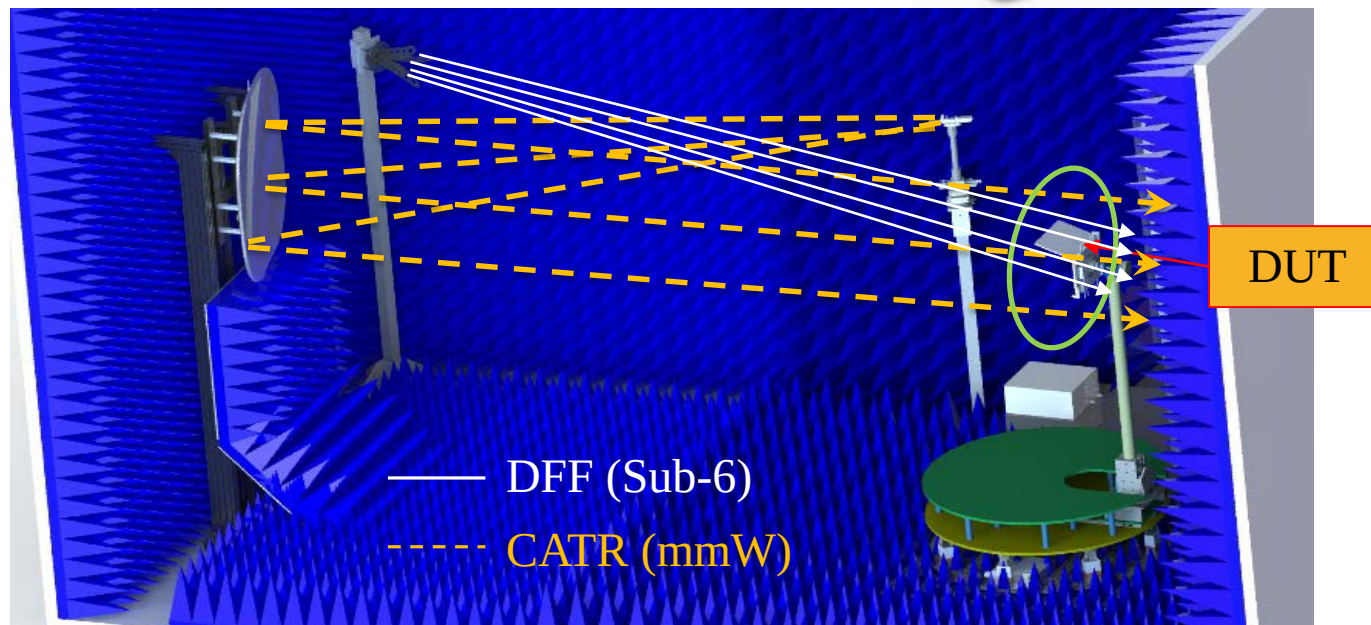


3D重載治具



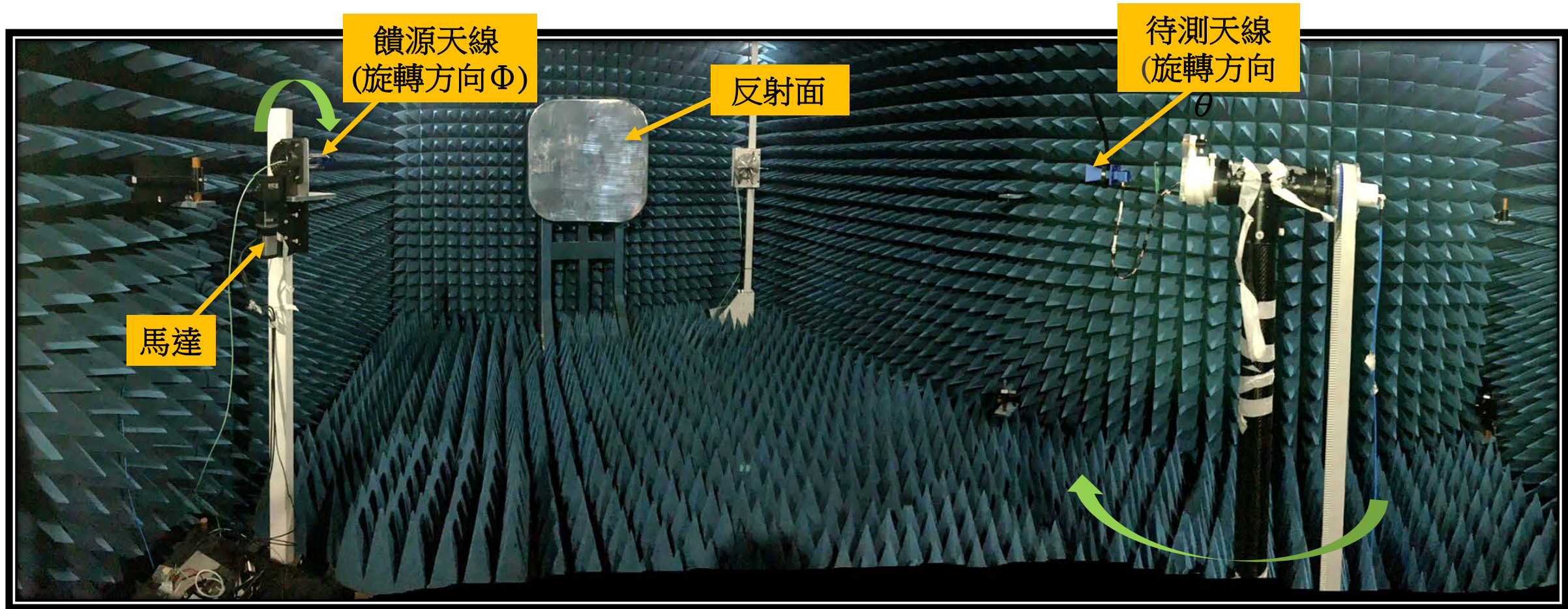
✓ CATR+旋轉饋源OTA系統

✓ DFF+IFF : DFF測試5G影響



RTF + CATR-謝智惟同學/Digit Talent

<https://www.digitalent.org.tw/zh-tw>



<https://www.youtube.com/watch?v=CLO-gMp7IKI>

衛星應用場景模擬 -MW6

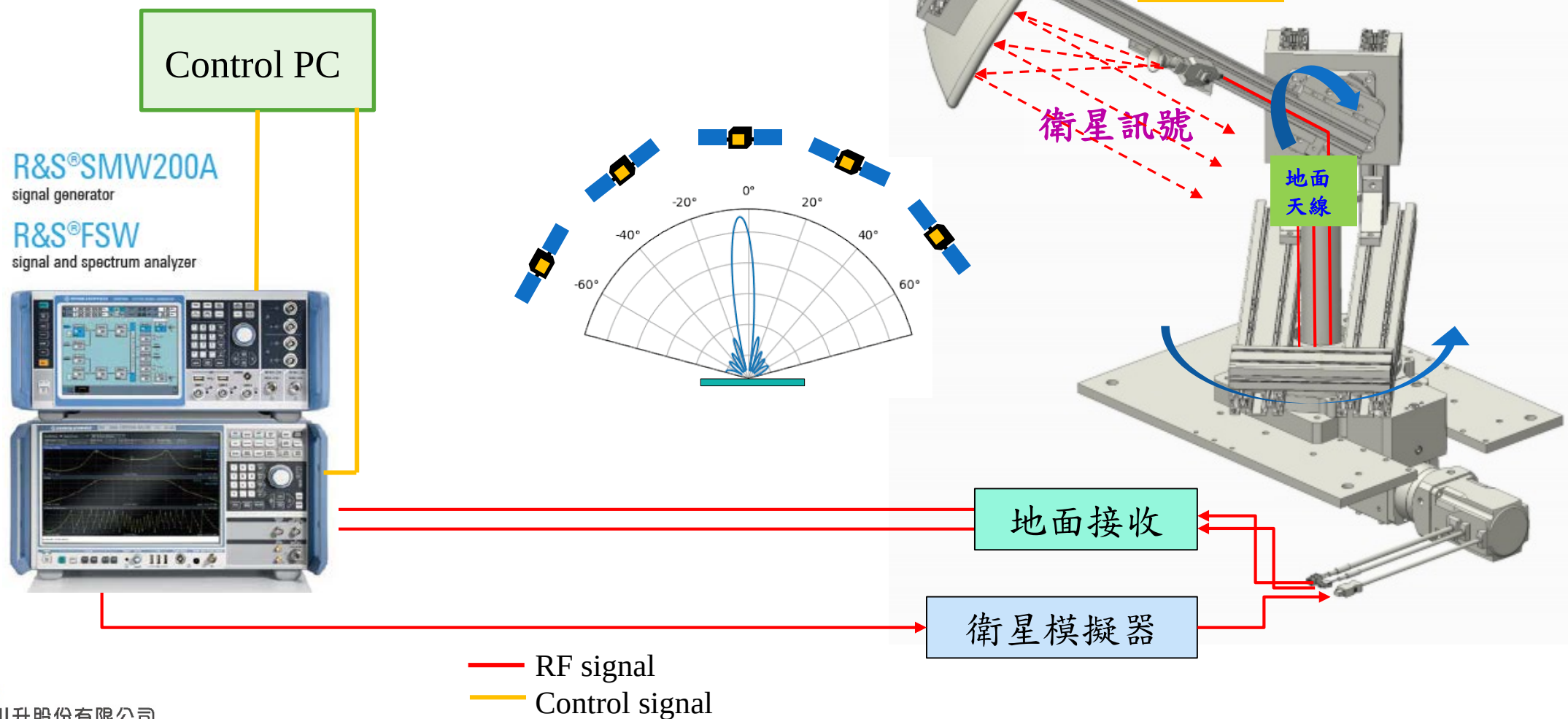
<https://www.youtube.com/watch?v=Q8wz7YRdu6Q&t=64s>

MW6d：可模擬實際衛星移動的效應

解決以下問題

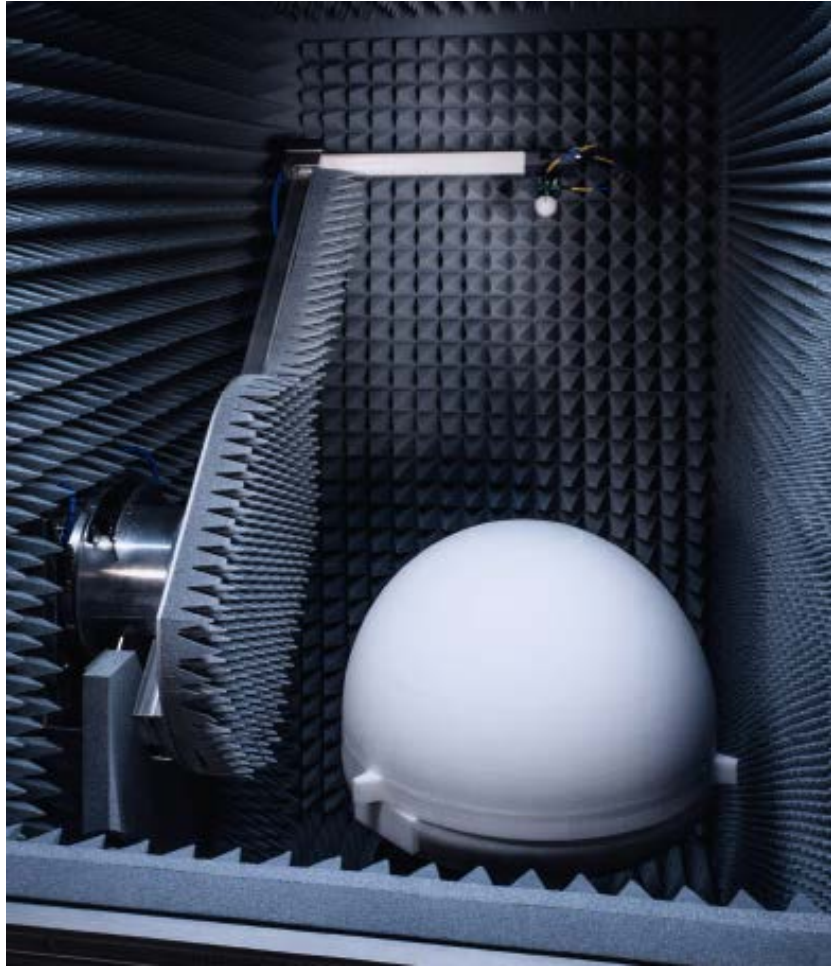
4. 都卜勒效應

5. Beam tracking/handover



使用環境模擬

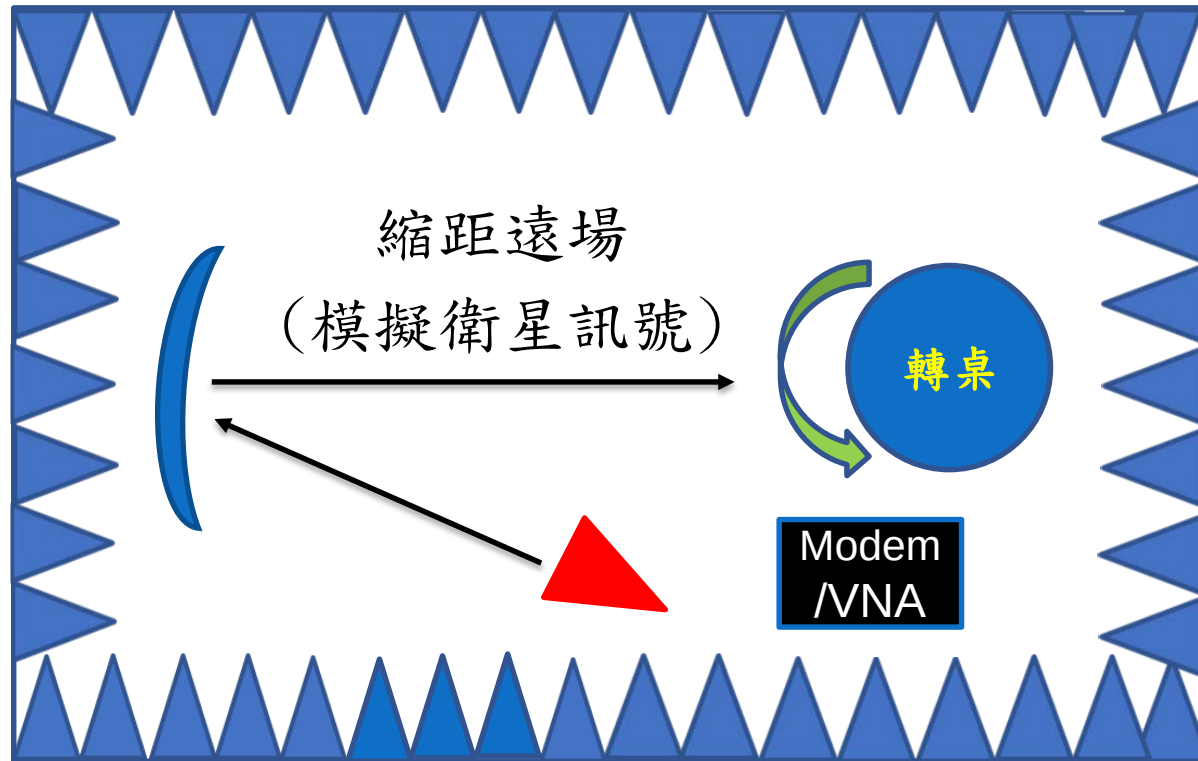
整合溫控： R&S AST1000



海浪模擬

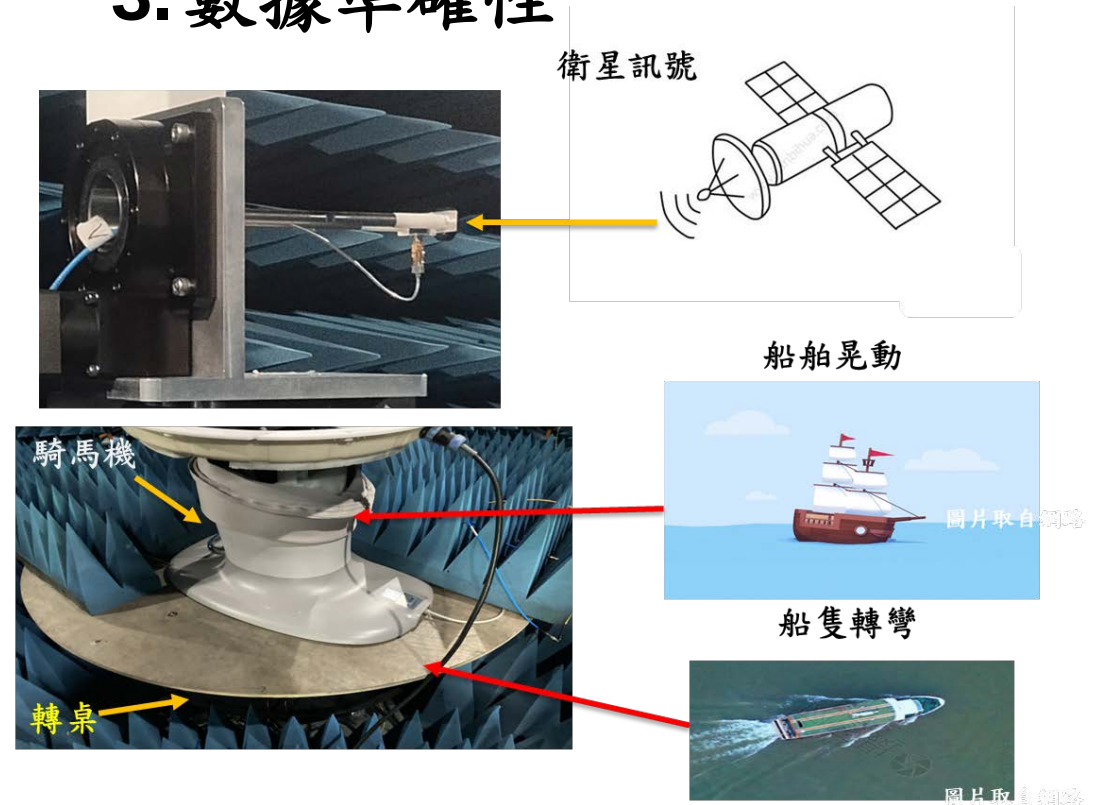


藍政鈞同學/5G jump

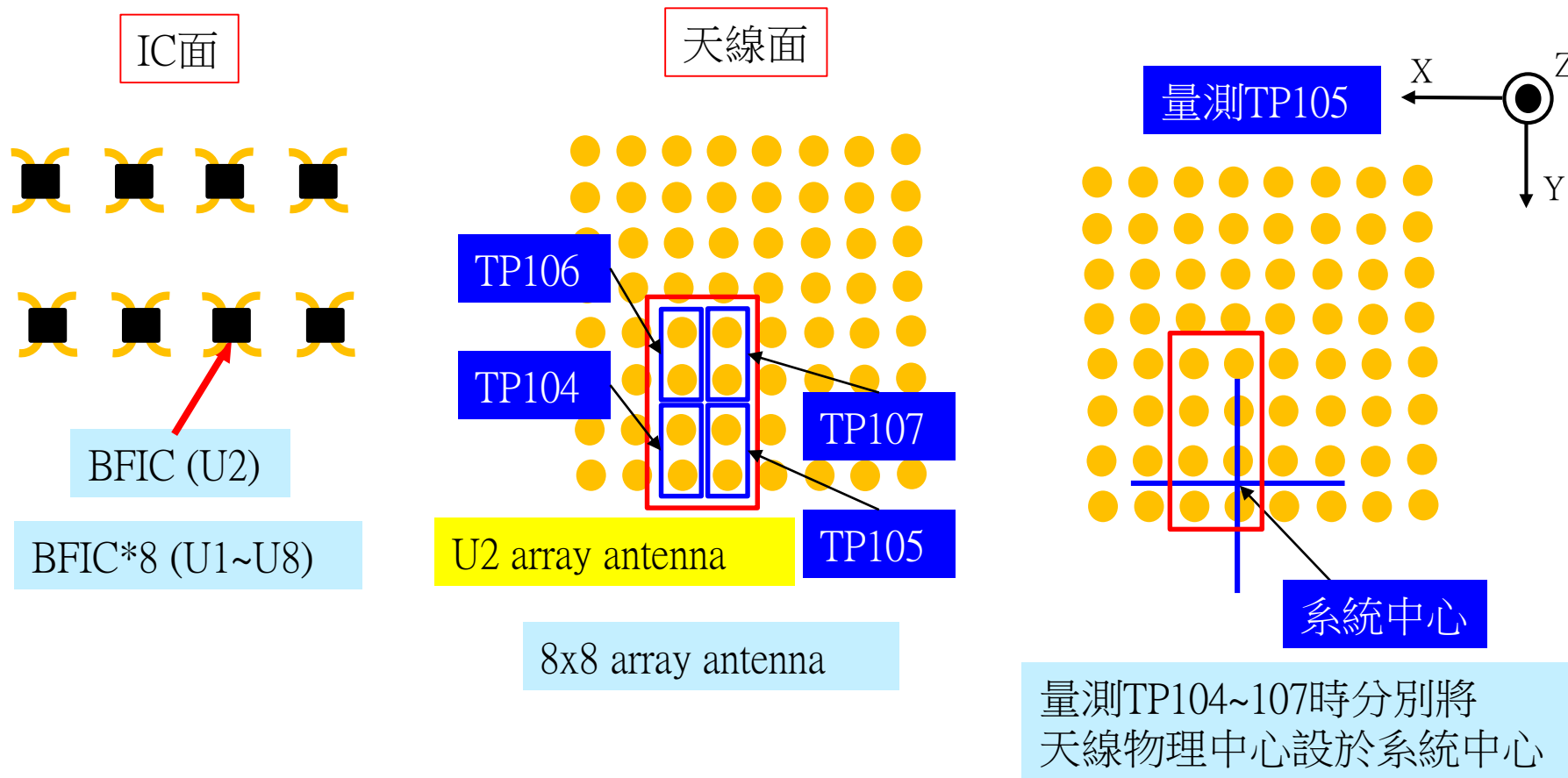


為什麼使用Chamber量測？

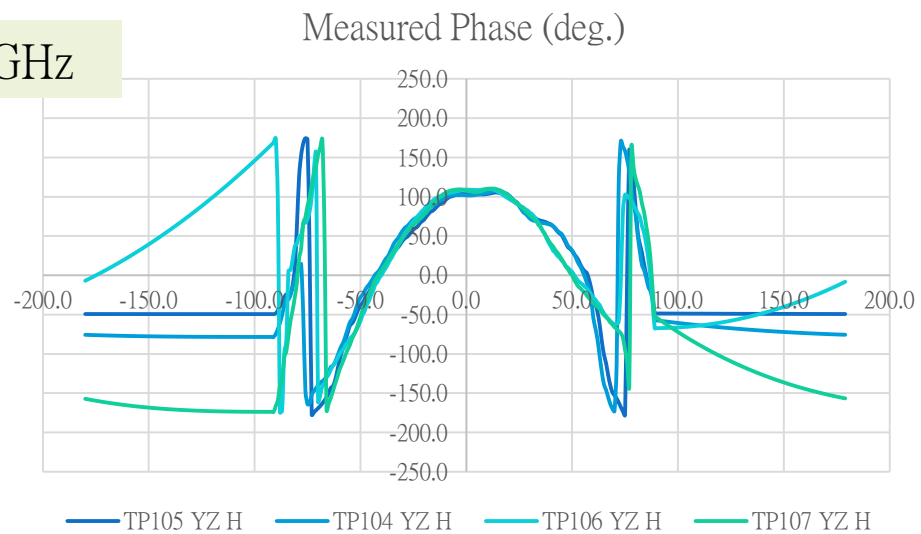
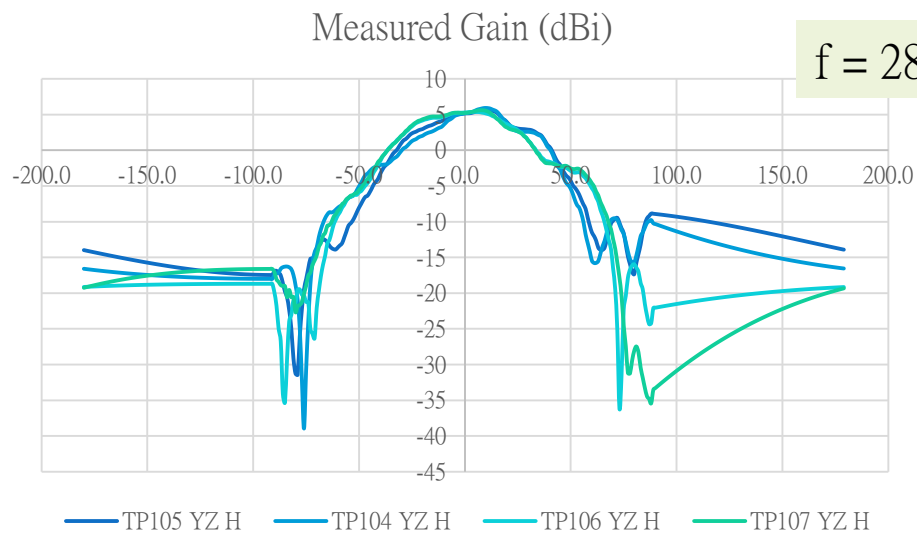
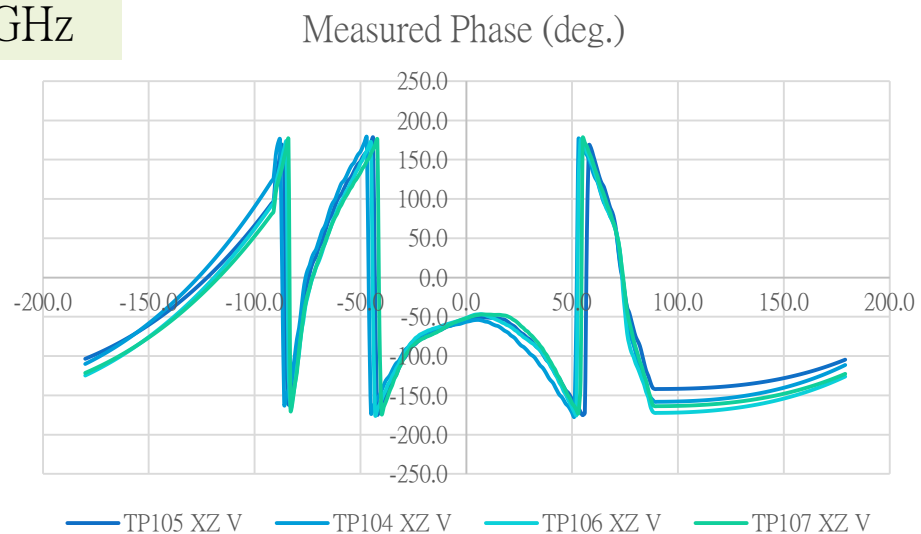
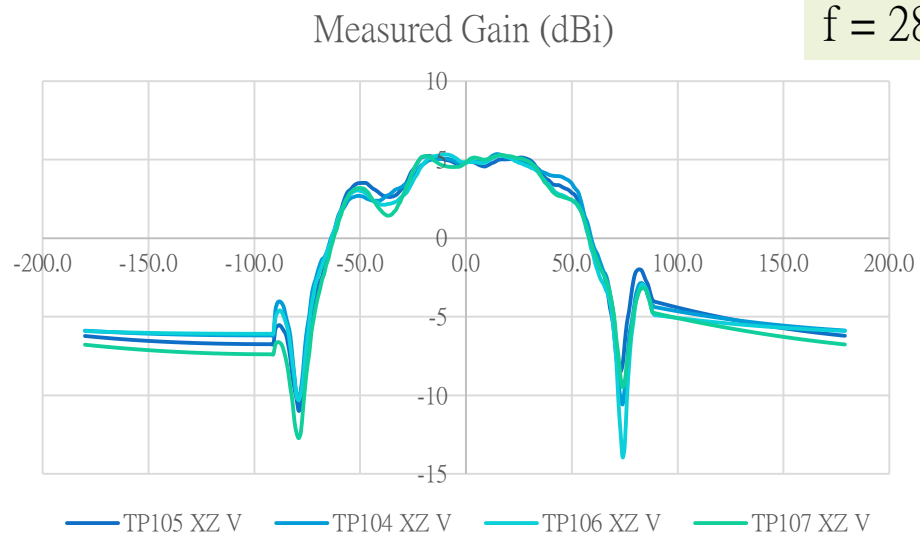
1. 天氣
2. 便利性
3. 數據準確性



範例：8x8 Array

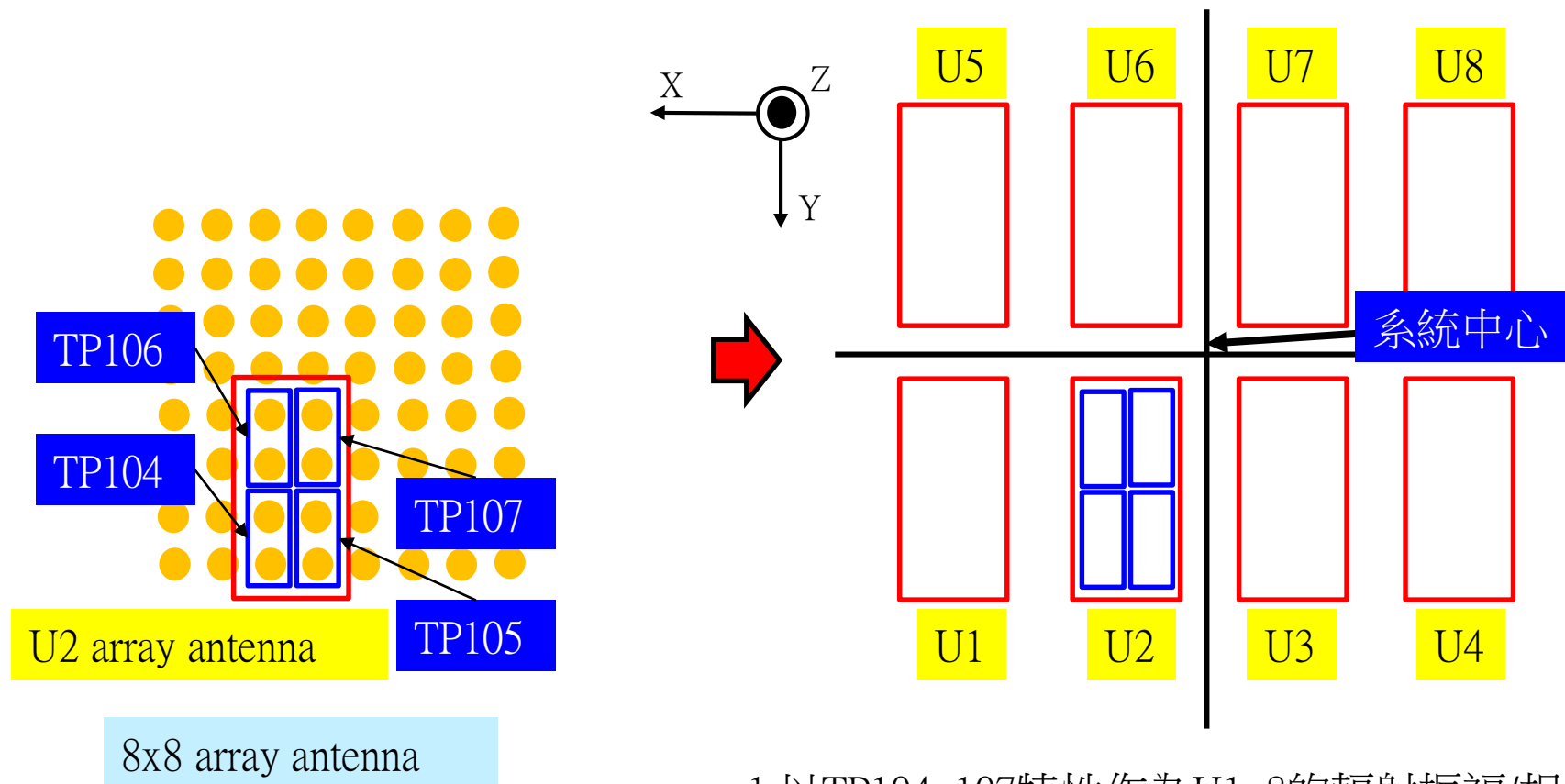


單天線量測結果



四天線量測結果相近

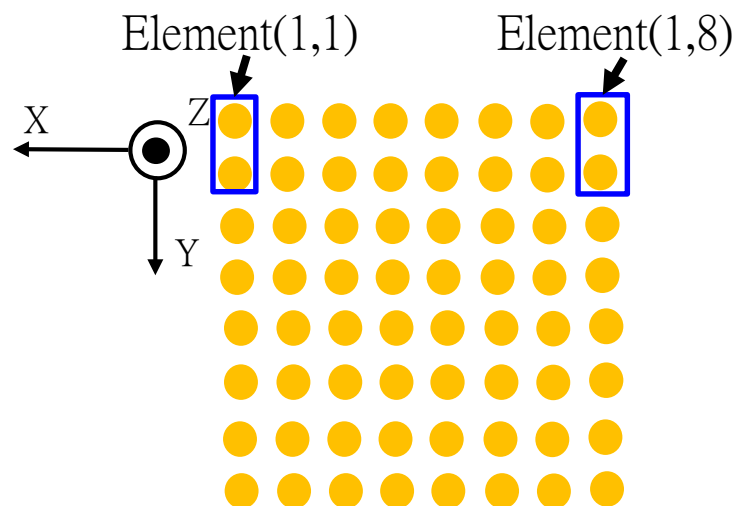
空間相位校正



- 1.以TP104~107特性作為U1~8的輻射振幅/相位
- 2.系統中心改變後，修正各天線輻射相位

X axis spacing: 5 mm
Y axis spacing: 10 mm

波束建模結果-零相差



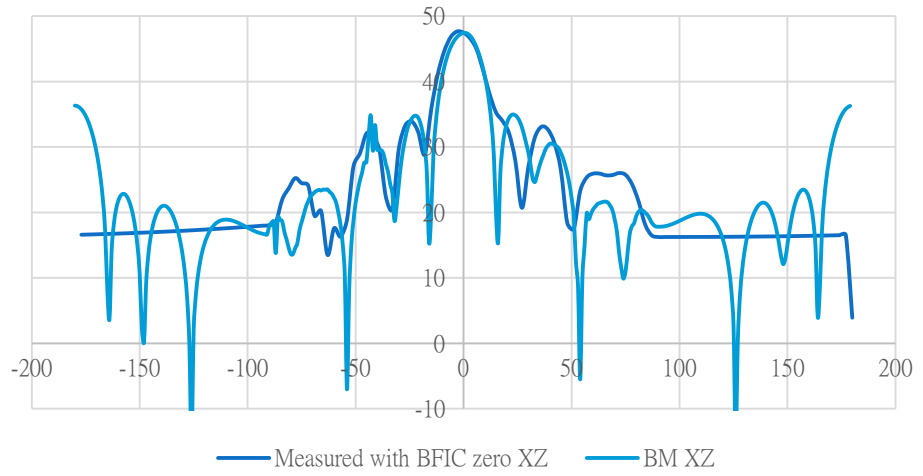
All element input power: 12.5 dBm
X軸方向相位差:0度
Y軸方向相位差:0度

輸入相位

element No.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0

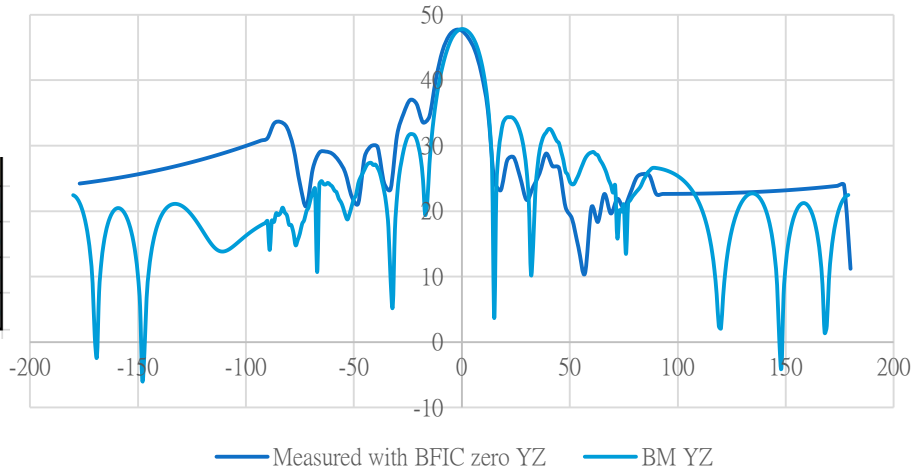
f = 28 GHz

Beam angle: 0 deg.

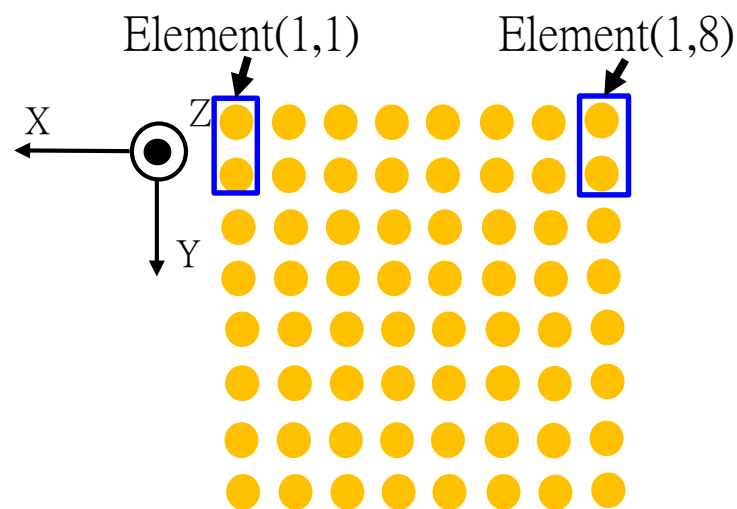


f = 28 GHz

Beam angle: 0deg.



波束建模結果-相差



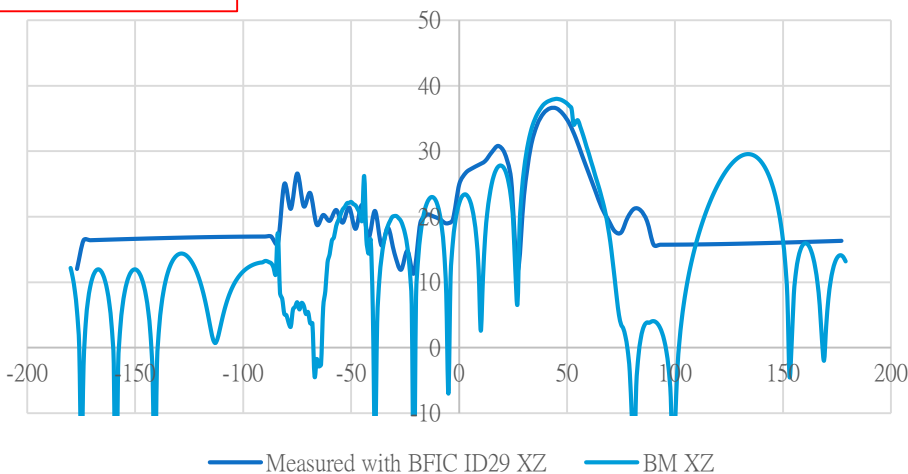
All element input power: 12.5 dBm
X軸方向相位差:60度
Y軸方向相位差:-120度

輸入相位

element No.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	-120	-240	-360	-480	-600	-720	-840
2	60	-60	-180	-300	-420	-540	-660	-780
3	120	0	-120	-240	-360	-480	-600	-720
4	180	60	-60	-180	-300	-420	-540	-660

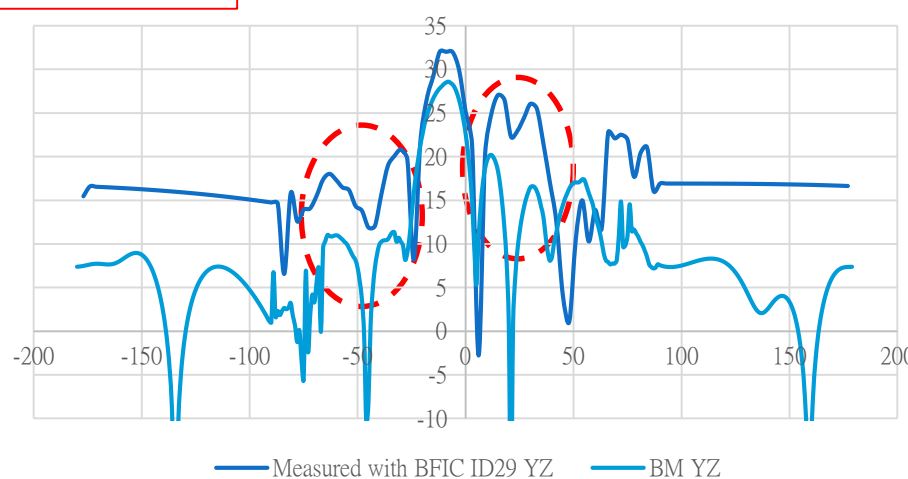
$f = 28 \text{ GHz}$

Beam angle: 45 deg.

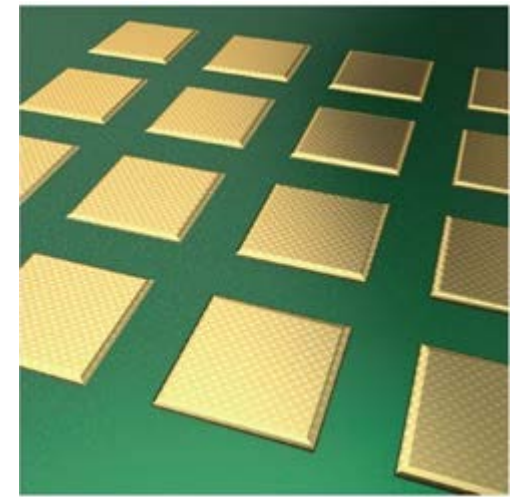
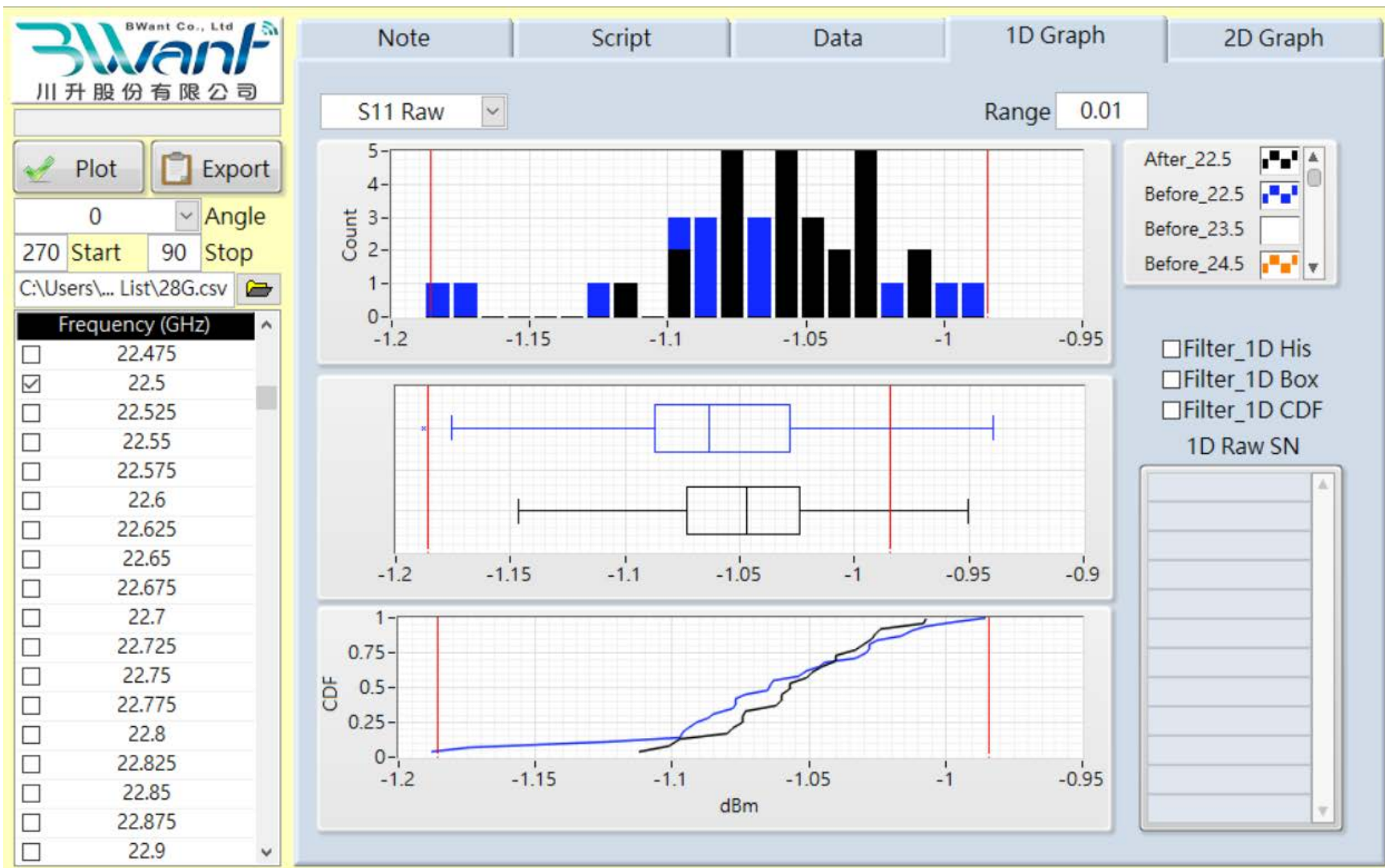


$f = 28 \text{ GHz}$

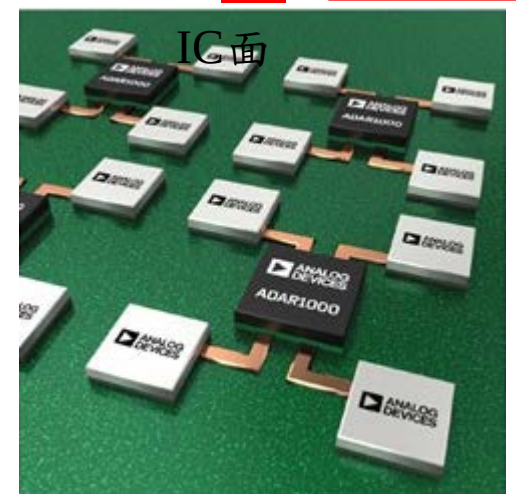
Beam angle: -8 deg.



天線與BFIC組合分析-大數據



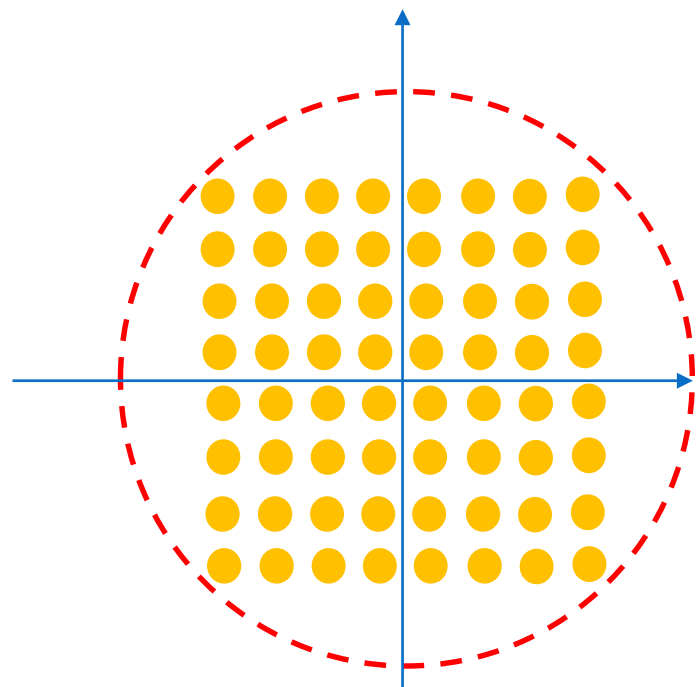
溫度/濕度



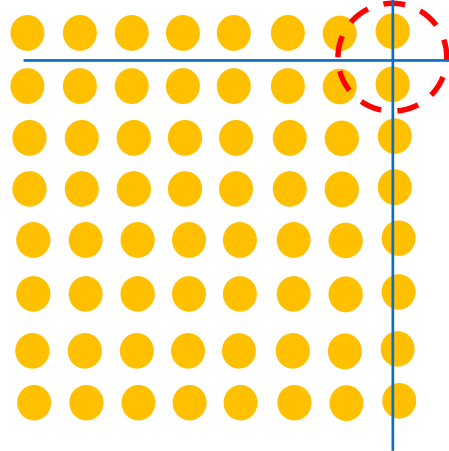
圖片來源www.analog.com

波束建模小結

- ✓ 利用空間校正降低暗室QZ要求
- ✓ 量測個別天線性能(振幅及相位)
- ✓ 依空間角度重新合成天線場型
- ✓ 驗證8*8 AiP天線結果



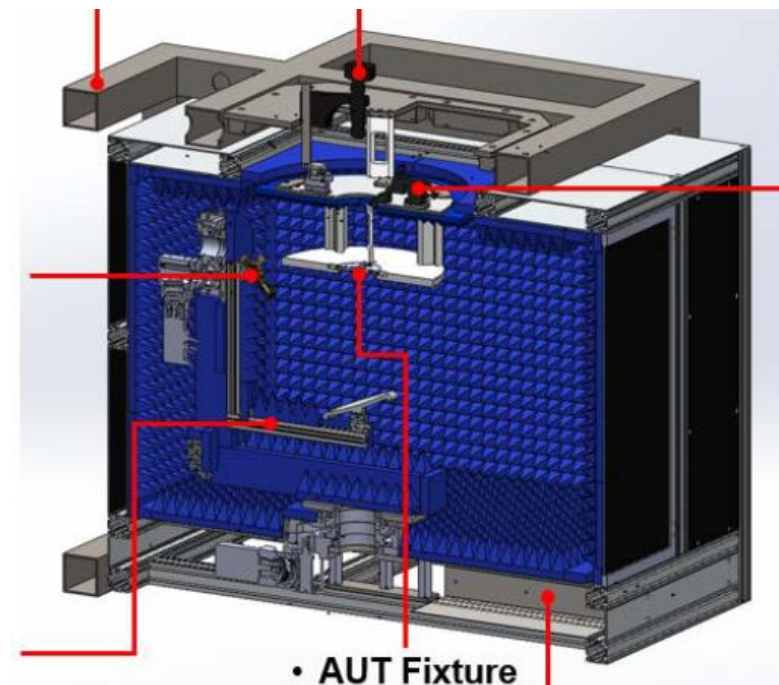
空間校正
降低QZ需求



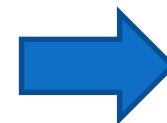
模擬IC行為



根據每個天線輻射振幅/相位
重新計算每個角度增益



量測小結



大數據!!!

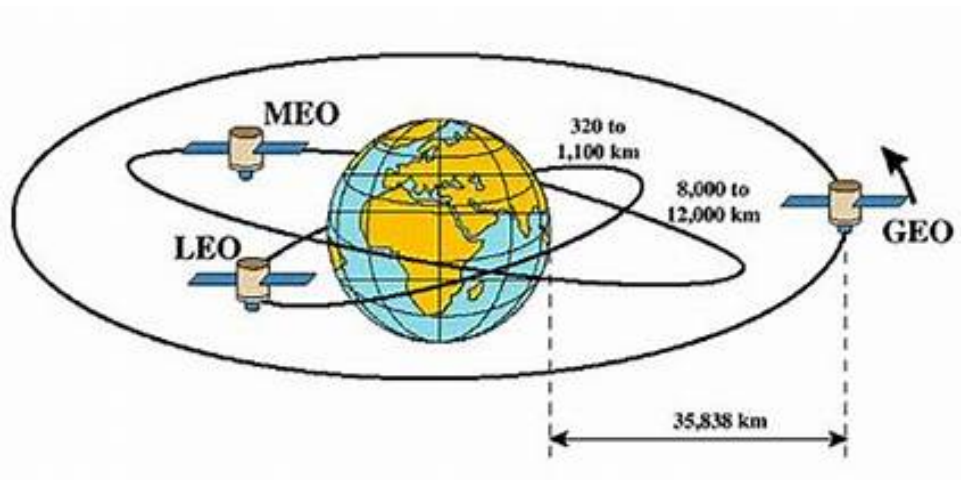
一個低軌衛星天線模組是整合『千顆天線』、『低損載板』、『百顆RFIC』的高度工藝，故如何抽絲剝繭量測各項元件獨立與組合後的參數更決定了最終成品的效能，

- ① IC成本高/性能難驗證~百顆 IC各自的功率放大器(PA/LNA)及相移器(PS)存在不一致性，Ka-band的毫米波頻段難度更遠大於中/低軌衛星頻段 MW5
- ② 電路板高頻性能驗證~頻率高至Ka-band，即使同片板材但不同位置的電參數（Dk/Df）仍會不一致
- ③ 相控陣列天線校正~因此必須經由實測並修正天線模組beam chart
- ④ 大型圓極化陣列天線OTA~使用近場量測時間長且須有準確相位量測結果，所以不僅量測費時且無法分析含調變或AUT獨立傳輸的系統性能狀況 MS10
- ⑤ 環境干擾效應評估~5G FR1對LEO干擾/共存及G/T參數量測
- ⑥ 模擬衛星移動都普勒效應測試~測試訊號必須如同低軌衛星高速移動時之狀態
- ⑦ 衛星切換測試~利用地面衛星天線之動態波束追蹤天空衛星間的切換狀態 MW6
- ⑧ 實際使用場景效應~環境溫溼度效應及環境干擾問題對衛星通訊性能影響大 動態環測箱

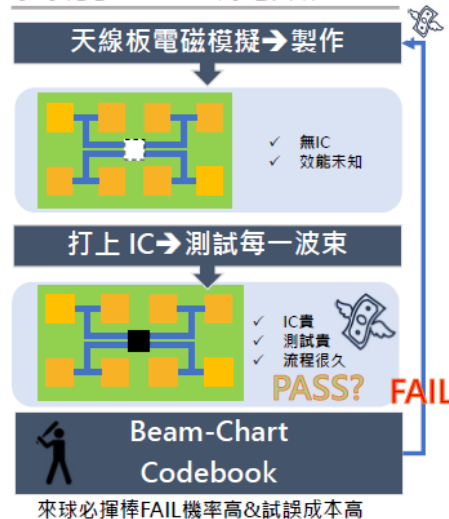
過去所沒有的挑戰

大綱

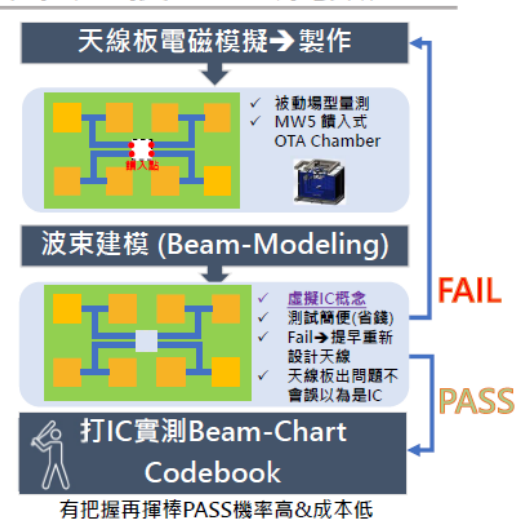
- 低軌衛星概述 – What? Why?
- 波束成型天線設計&大數據應用 – How?
- 天線量測方式介紹&大數據應用 – How?
- 結論



目前AiP研發流程



波束建模AiP研發流程



結論

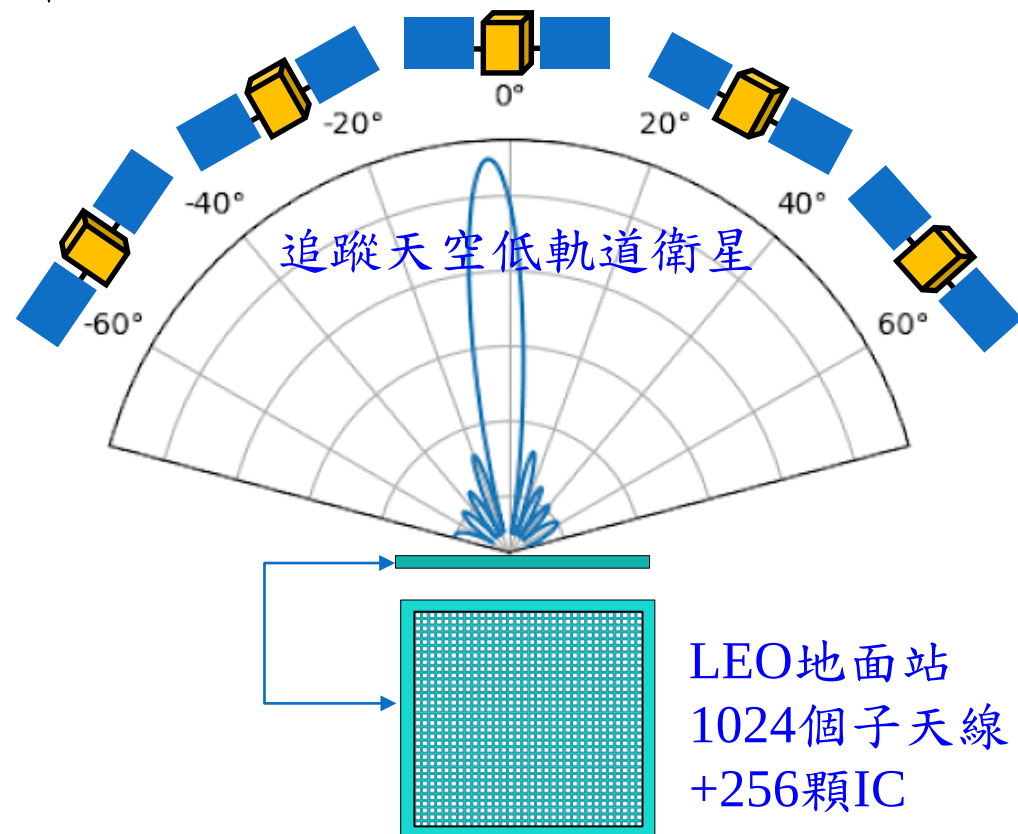
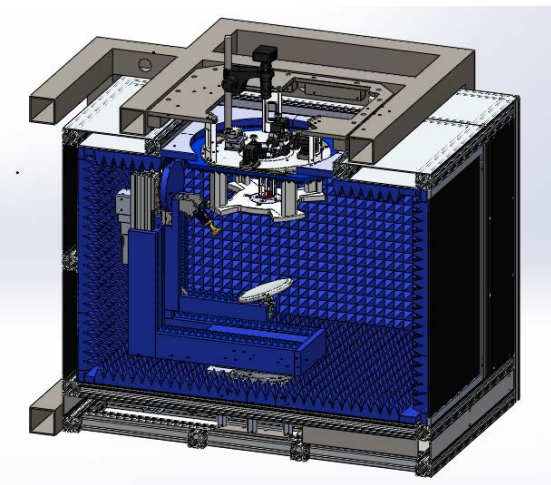
低軌道衛星：

- ✓ 市場可實現性：商用＋軍事
- ✓ 台灣優勢：產業鏈完整／國際局勢／硬體成本控制能力佳
- ✓ 產品技術門檻：整合材料／製程／設計／測量
- ✓ 產品開發思維：研發↔生產

＋大數據



可行變可用





TP : 114 台北市內湖區行愛路69號



02-27951002 /



02-27951009



川升股份有限公司 BWant



service@bw-ant.com



<https://www.bw-ant.com/>



高雄科技大學



戰略夥伴：至高頻科技股份有限公司
300新竹市東區慈雲路118號4樓 / 03-6109663



高雄研發中心
811 高雄市楠梓區卓越路167號1樓/07-3532208



工作/實習介紹

透過川升平台
多位同學至各公
司實習及就業

- 台郡、嘉聯益
- 南亞塑膠
- 軟板整合天線
- AiP天線設計
- Dk/Df分析

板廠

- MTK實習
- Sub-6天線設計
- AiP專業量測

IC

系統

- 星路科技
- 電信網管

- 全一、緯創、博百、
富智康、相宇企業...
- 天線設計與RF系統

電波+資
工

- R & S、安立知
- 川升
- 儀器設計製造
- 技術客服支援

儀器

- 德凱
- 認證實驗室，認證報告
- 法規了解與量測規劃實現
- 客戶溝通

認證

實習機會介紹

計畫實習 → 業界實習 → 正式員工

參加辦法

- 資策會公告，可參考前一年資訊
- 根據資策會公告方式報名
- 由眾多公司媒合面試
- 半年期間由資策會給付獎助金
- 須配合公司工作事務並遵循資策會規定，每月審核

川升
學苑

學校

通訊大
賽

資策會
5G Jump

參加辦法

- 每年寒暑假前於fb公告，須自行主動關注並報名
- 川升根據企圖心與積極度審核
- 學員完全無須付費之學習機會
- 提供台北宿舍



2022暑假川升學苑成果發表

Invitation BWant Day

AUG
31
2022



川升學苑
BWANT ACADEMY

Location

川升-內湖行愛路69號1樓

14:00-15:00 主題一：5G及室內定位天線設計

A: 一種快速設計金屬邊框天線的研究方法

報告者: 林偉華/余坤鴻/葉宇威/蘇祈享/王榆揚

B: 5G多頻小基站天線設計

報告者: 謝承宏/徐鴻木/謝榮達

C: 應用於UWB TAG的對數周期天線設計

報告者: 林威甫/邱宥勳

15:00-15:30 TEA BREAK

15:30-16:30 主題二：B5G/6G天線設計

A: 應用於B5G/6G的RIS技術分析

報告者: 邢映婷/李明緯

B: 衛星地面收發天線系統設計

報告者: 張詩斌/藍政鈞/林思延

16:30 頒獎

