

# ドローンの安全・安心を支える 無線技術

国立研究開発法人情報通信研究機構  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室

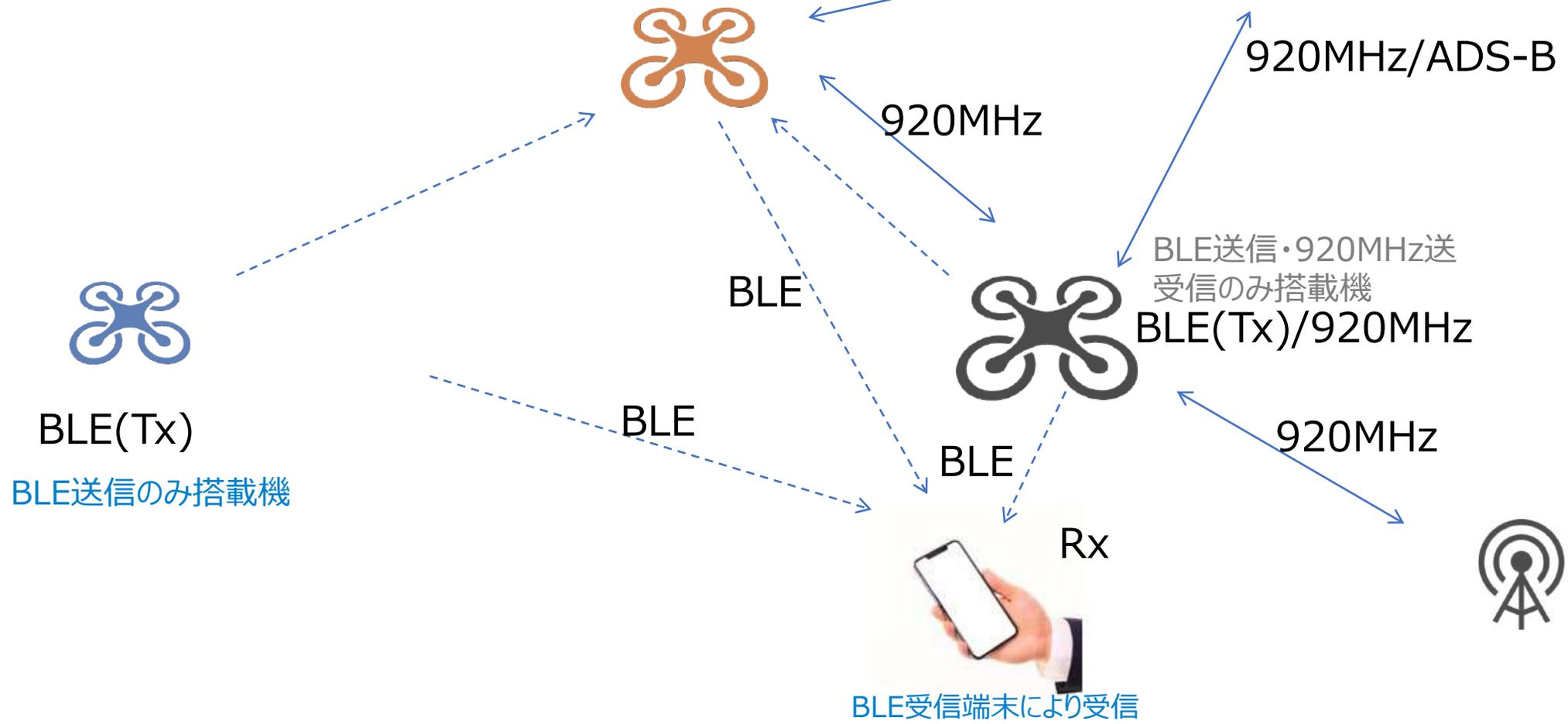
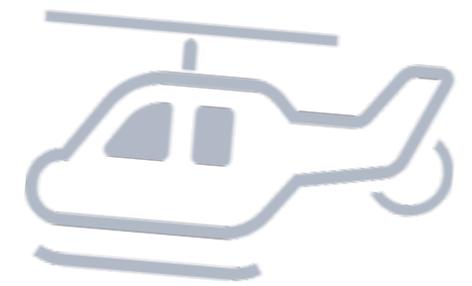
松田 隆志





## 遠隔識別、衝突回避のためのデバイス間通信

ADS-B : Automatic Dependent Surveillance-Broadcast  
BLE送受信、920MHz送受信、ADS-B受信をすべて搭載機  
BLE(Tx/Rx)/920MHz(Tx,Rx)/ADS-B(Rx)



BLE受信端末により受信

# 愛知県藤岡ヘリポートでの通信実験

2020年10月12日実施

ドローンは  
ヘリポート内を飛行



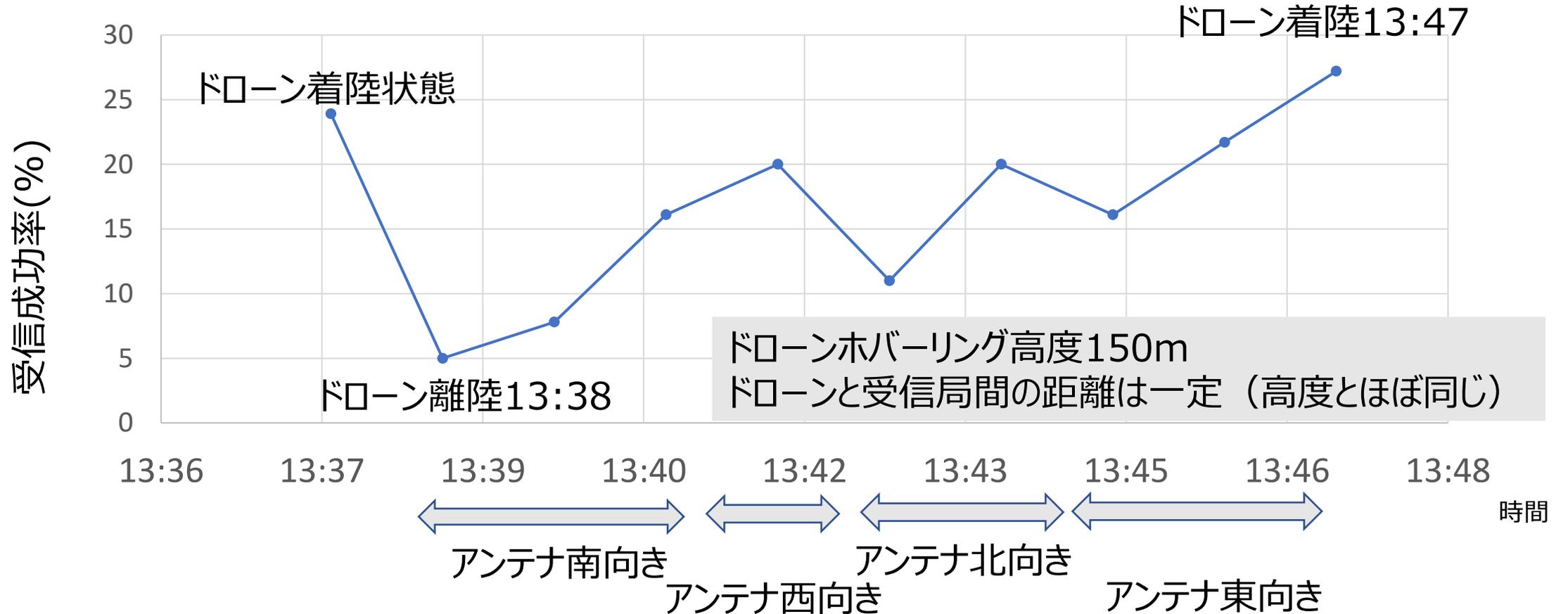
BLE送受信機  
(機体側)

BLEを用いて  
位置情報等を送信



NICTの開発したマルチ受信機 (地上局側)

## アンテナ向きと受信成功率の関係



機体（アンテナ）の向きによって受信成功率が大きく変わっていることが分かる。  
ドローン本体によるアンテナパターンの影響が大きい。  
最長約400mの通信に成功

# コマンドホッパーを用いたハンドオーバー実験

## 総務省SCOPEプロジェクト

「海岸地域における次世代型UAV活用に資する高信頼ワイヤレス伝送技術の研究開発」

での通信実験（2020年10月26日から30日@新潟県佐渡島）

コマンドホッパーはマルチホップで低遅延を保証するコマンド・テレメトリ情報をやりとりする無線通信システム

佐渡空港および加茂湖上空50mから150mで実験

169MHz帯を使用（地上局：1W、機体端末局：20mW）



制御局から中継局を介して無人機とコマンド・テレメトリ情報を通信  
制御局から離れた場所での中継局とのハンドオーバーに成功

# 長距離・広角度の多元接続技術の開発

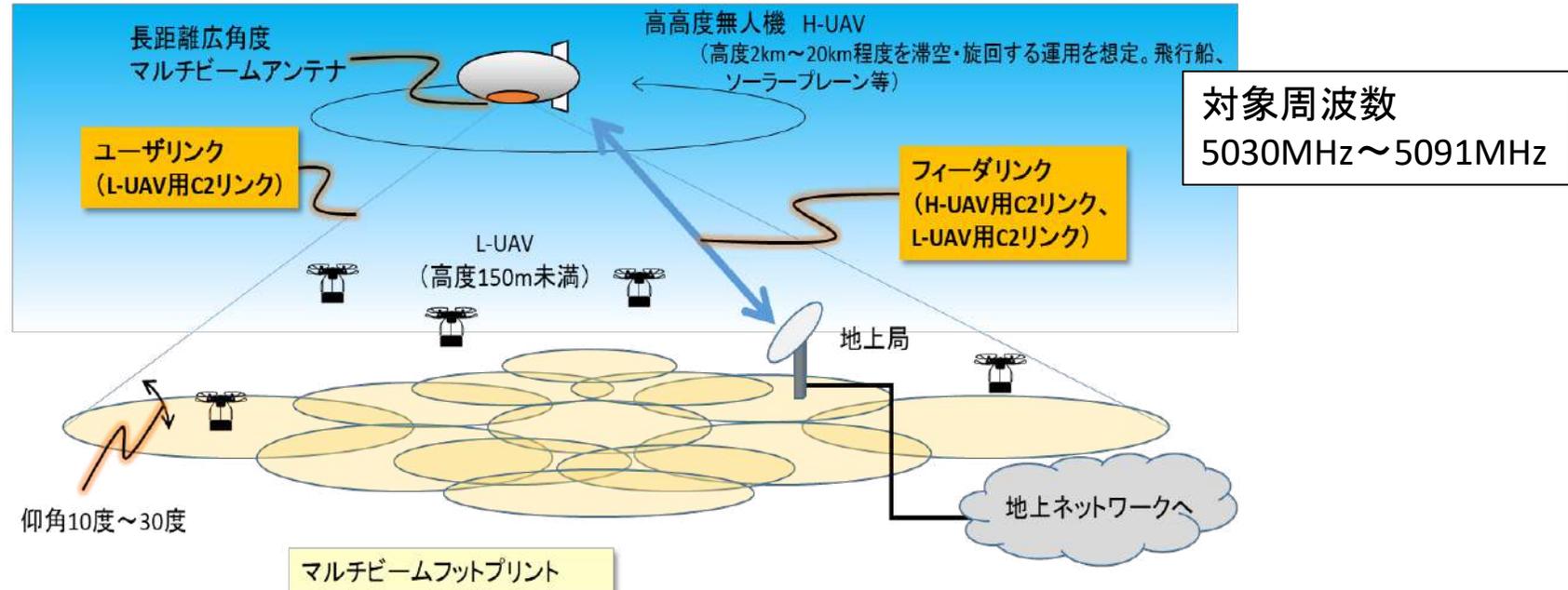
電波利用料 無人航空機の目視外飛行における周波数の有効利用技術の研究開発

【成果目標】 従来の小型無人機と地上間の通信距離に比べ、10倍以上の長距離通信を可能とするエリアを確保。従来の小型無人機の通信技術に比べ、100倍以上（約5000台）の同時接続数を実現

【技術的課題】 高高度無人機のカバーエリアは、最大で直径100km程度の広範囲に及び、直下と外縁部とでは角度差が70度～80度以上となるためエリア内の十分かつ均一な通信品質の確保が困難

【実現手段・手法】 長距離・広角度対応アレーアンテナ技術及び広角度複数可変ビーム形成技術の開発

- 広角にわたる利得を確保するため、**マルチビームアンテナ**素子はモノポールアンテナあるいはヘリカルアンテナ等の採用を検討
- H-UAV直下方向からの角度により、**EIRP配分及び送受信利得配分**を行うことで、可能な限りエリア内の均質化を検討
- 第5世代移動通信システムで利用されているビーム形成技術等も考慮し、**角度130度を達成する最適な方式を開発**

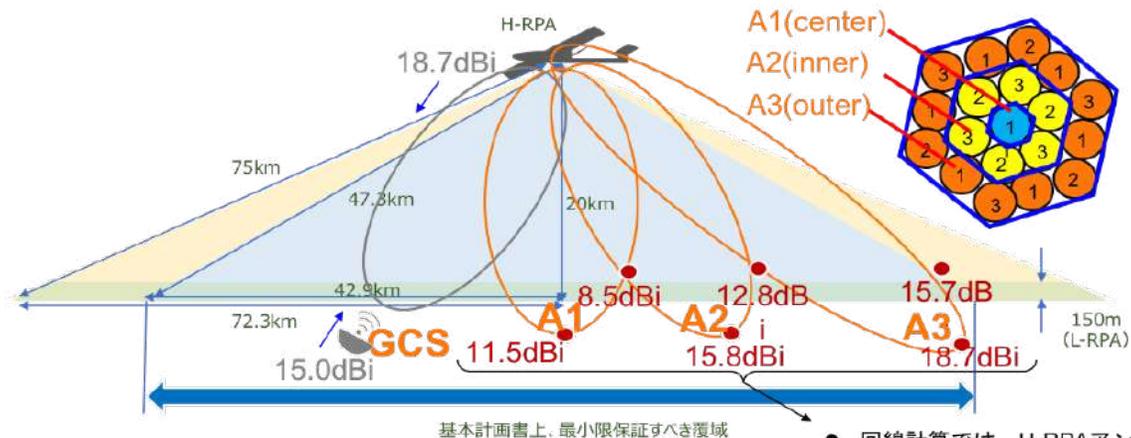


空間電力合成型のマルチビームアンテナは、第5世代移動通信システムでも活用が検討されている技術であり、これをH-UAVとL-UAV及び地上間の長距離回線の多元接続に適用することで、空間軸、周波数軸、時間軸をフルに活用した、**高い周波数利用効率と安定した通信品質の確保に寄**

- 飛行環境をカバーできるように回線設計を実施。3セル周波数繰り返しによる19セル構成。
- アレイアンテナにより19ビームを構成した場合のキャリア電力対干渉電力比（CIR）の算出
- デジタルビームフォーミングの設計及び実装する評価ボードの選定

## 回線設計例

3セル周波数繰り返しによる19セル構成として、各セルに必要な空中線出力及び利得を算出。37素子を利用したビームフォーミングによる構成を設計。



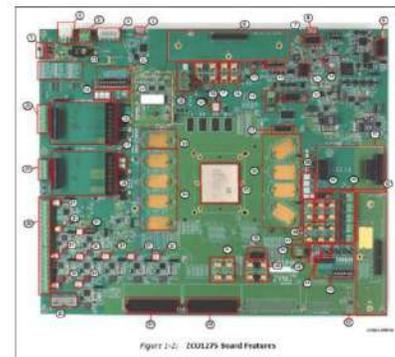
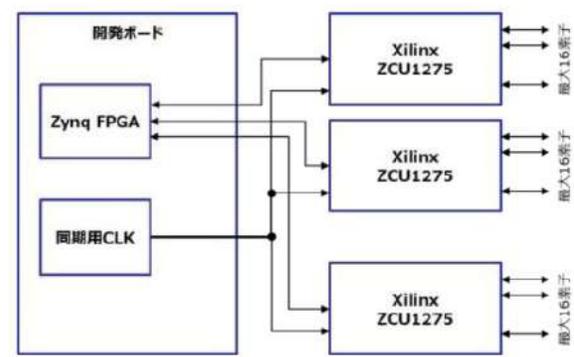
基本計画書上、最小限保証すべき領域

H-RPAアンテナのL-RPA1機向け出力 = 50mW (←回線計算より)  
 → 1セル当たりの総合出力 = 50mW x 132ch = 6.6W  
 → 1アンテナ当りの出力 (各エリア毎)  
 A1: = 6.6W x 切片数1 x 面積比 / 7素子 = 0.24W  
 A2: = 6.6W x 切片数6 x 面積比 / 19素子 = 1.04W  
 A3: = 6.6W x 切片数12 x 面積比 / 37素子 = 2.14W  
 → 全19セル合計出力 (1アンテナ当り)  
 中心7素子: = 0.24W + 1.04W + 2.14W = 3.42W  
 内側12素子: = 1.04W + 2.14W = 3.18W  
 外側18素子: = 2.14W

- 回線計算では、H-RPAアンテナ姿勢変動補償誤差0.5dB、マルチビーム間利得リップル3dB
- 各層厚みのビーム形成に使用するH-RPAアンテナ素子数  
 A1: 7素子  
 A2: 19素子  
 A3: 37素子

## 設計用ボードの選定

外部インターフェースや信号処理を制御するプロセッサ、ベースバンド処理やデジタルプリコーダを実現するためのデジタル回路 (FPGA)、アナログ部とのインターフェースである DAC/ADC が必要であり、これらをディスクリート部品で構成すると消費電力や実装面積等の面が問題となるため、Xilinx 社が提供する Zynq UltraScale+ RFSoc (ZCU1275基板) を活用することを想定し、設計を実施した。

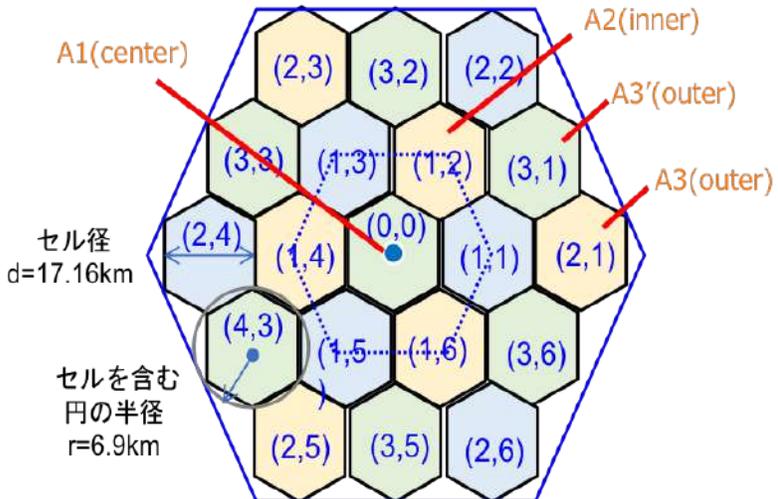


16素子以上対応の場合の構成

選定したXilinx社ZCU1275評価キット

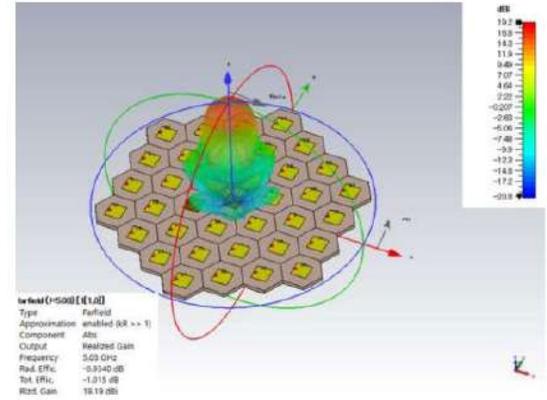
## セル設計例

3セル周波数繰り返しによる  
19セル構成

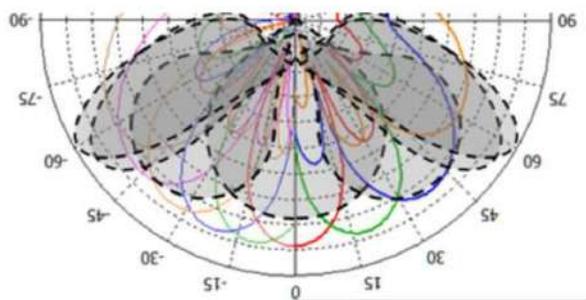


## 設計ビーム例

37素子でのハニカム配置  
モデルとビーム照射の例



中央セル用ビームの例

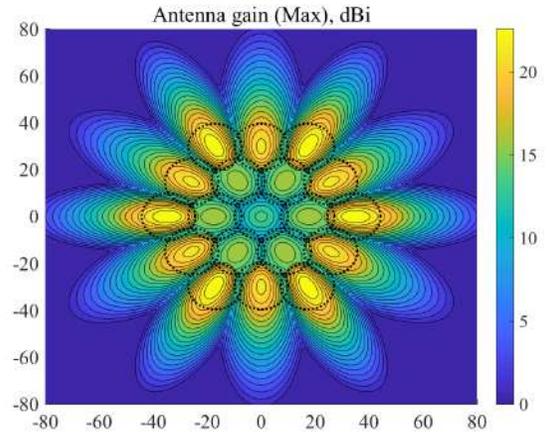
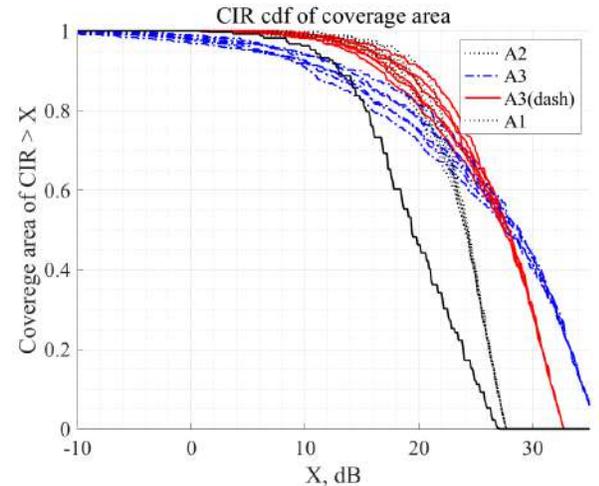


65°方向は 37 素子にて 15.7dB を確保見込み

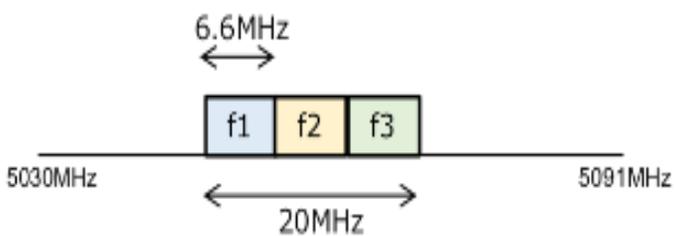
ビームフォーミング構成時の  
シミュレーション結果

## CIR特性の例

37素子によりビームフォーミングを実現した場合  
(不要放射レベル-40dB) のCIR特性を評価。  
90%以上のエリアでCIRが10dB以上。



3セル用周波数チャンネル例 :



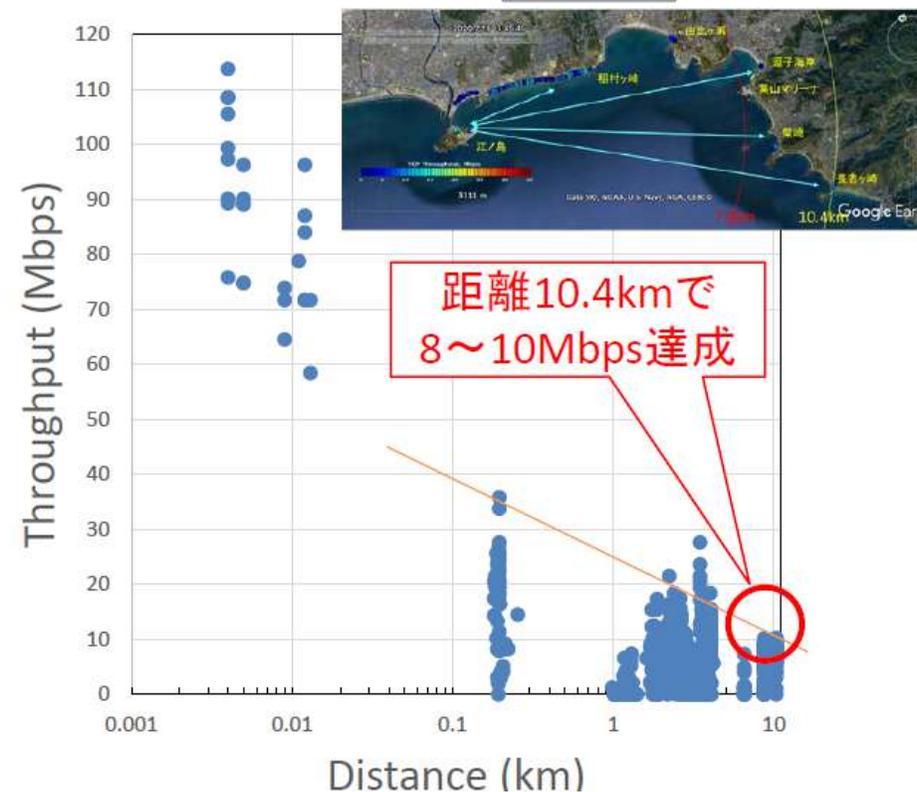
# ドローンを用いた港湾の点検のための通信技術

構造物、船舶、あるいは海面等による電波の減衰の影響を軽減し、かつ、高品質な画像伝送を行うためのUAV通信システム(固定施設中継局あるいは中継用UAVによる広帯域マルチホップ(データ中継)伝送技術)を開発する。



測定場所: 湘南江の島～長者が崎  
(最大10km)

距離 vs. スループット特性



ご清聴ありがとうございました

# ダイナミックに情報共有頻度を変えながら群飛行制御

群飛行時には、

実現イメージ：複数機体による配送、物流

