

# 超高速通信を実現する アンテナシステム

富山大学

大学院 理工学研究部（工学）

電気電子システム工学科

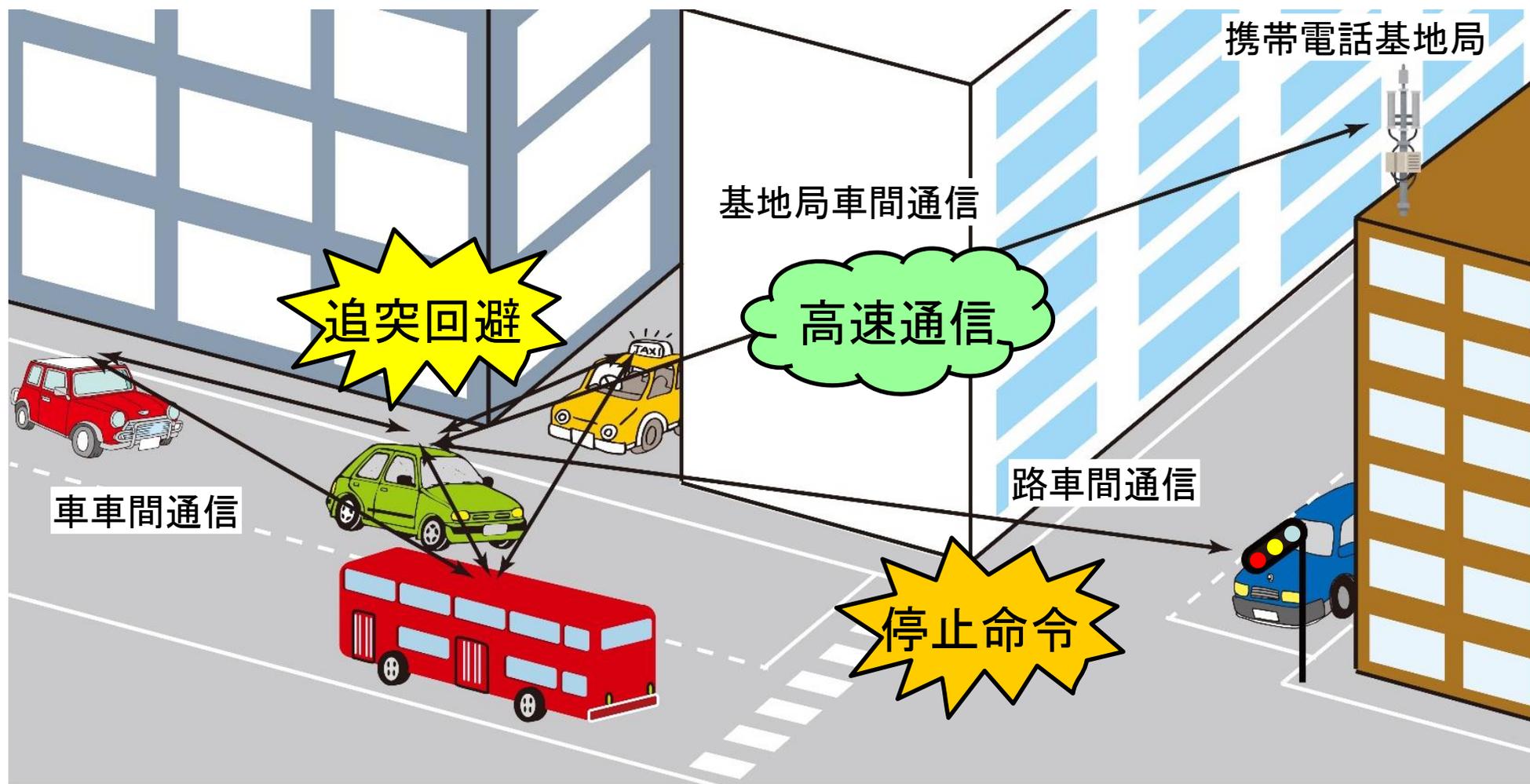
講師 本田 和博

2019年10月8日

本研究開発は総務省SCOPE(受付番号175005001)の委託を受けたものである。

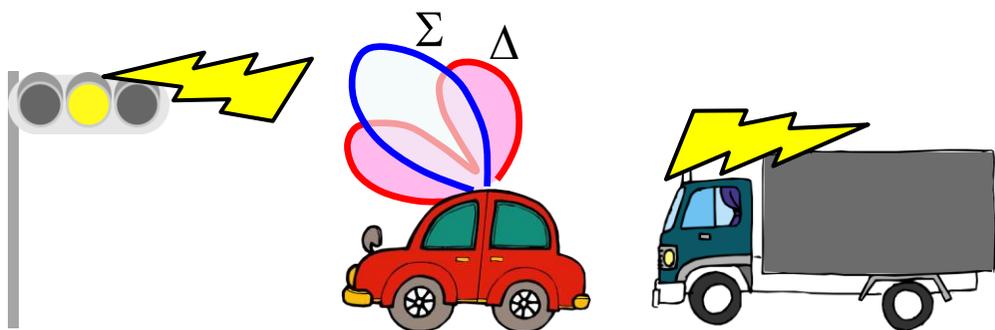
# 将来の自動車社会におけるネットワークの未来像

ネットワークにつながる車である「コネクテッドカー」が  
ITS分野を変革させる

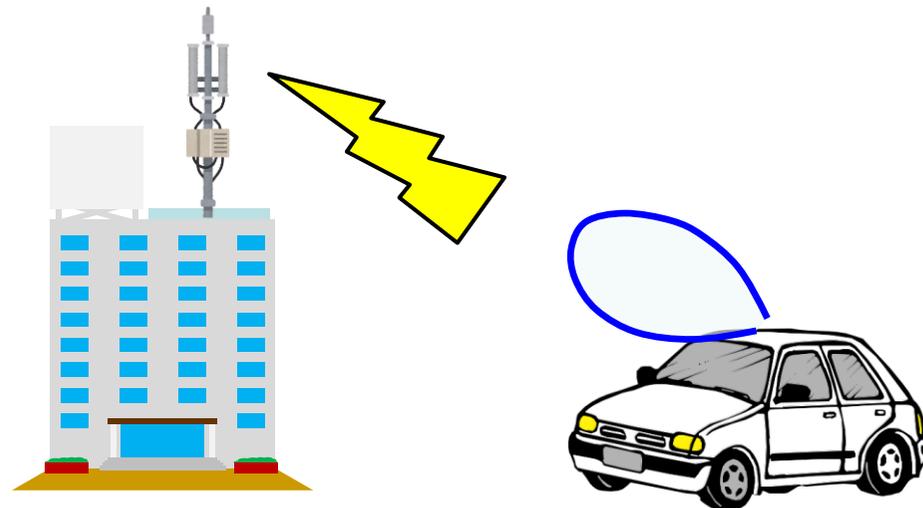


# コネクテッドカーを実現するための技術

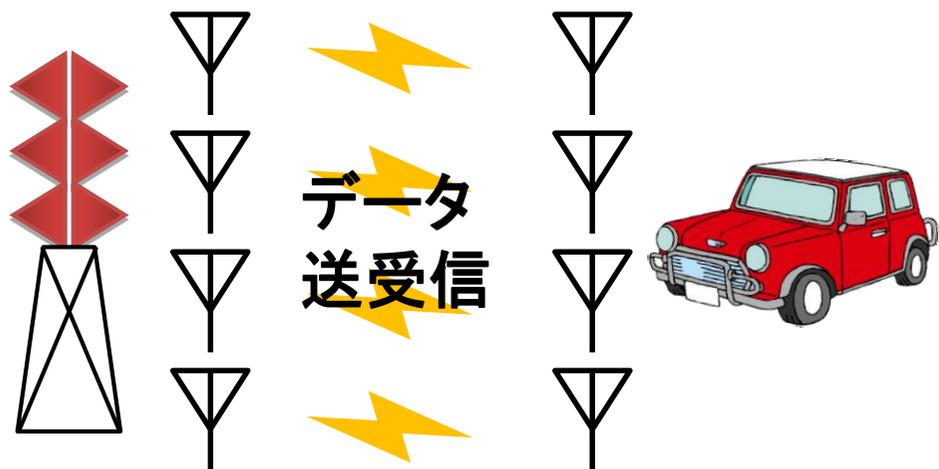
## ① 自律的に到来波方向を推定



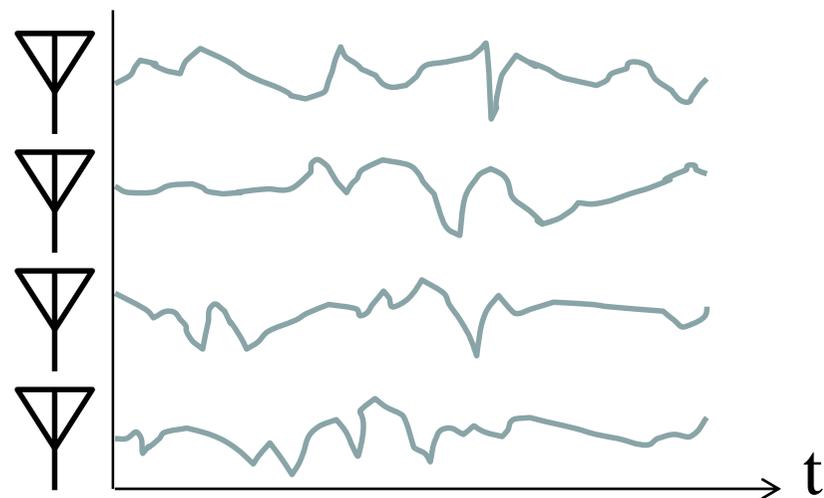
## ② 指向性走査による高SNR化



## ③ 多素子MIMOアンテナの開発



## ③ 低空間相関化

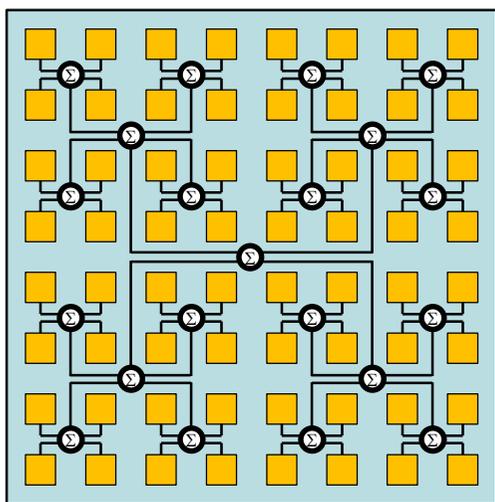


# 従来技術とその問題点

全方位にわたるアジマス放射特性が必要である。

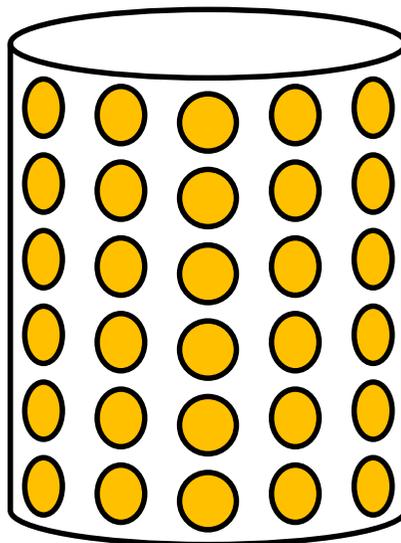
しかし、従来技術は、

パッチアンテナを2次元的に  
配列した平面アレー



特定の空間領域を照射

パッチアンテナを円筒状に  
配列したMIMOアレー



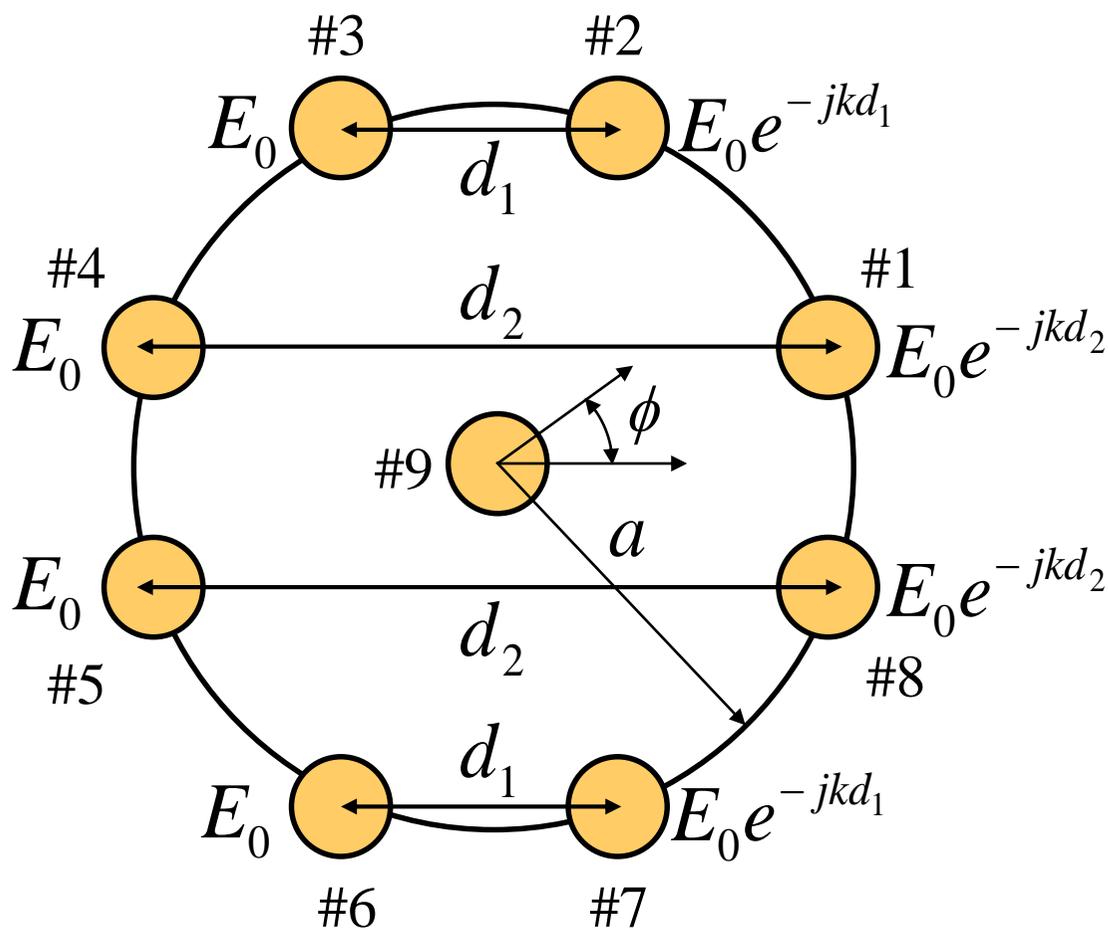
全パッチに到来波が  
照射されない



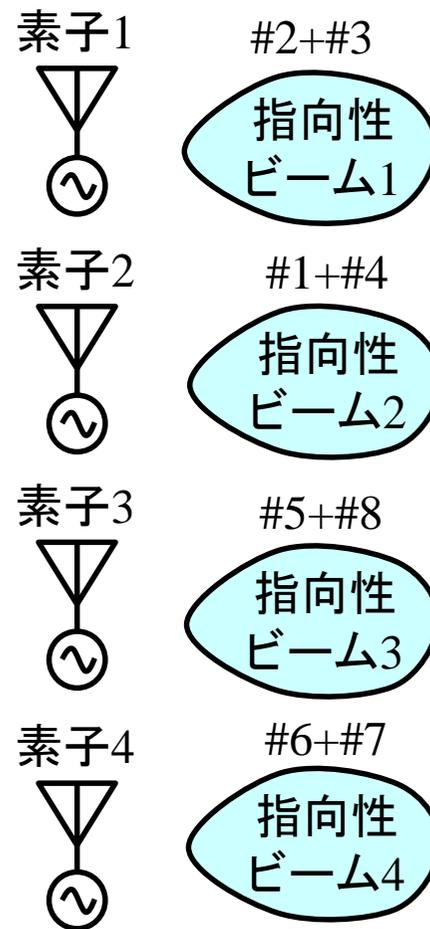
Full-Rankのチャネル  
応答行列が形成されず、  
伝送容量の低下を招く。

# AOA・MIMO複合アンテナ

- ①到来波方向を推定し、②サブアレーの指向性を制御し、  
③安定した超高速通信を実現する機能を有する



4 × 4 MIMO 素子配列



指向性ビーム  
の形成



①高SNR

クラスター  
到来波



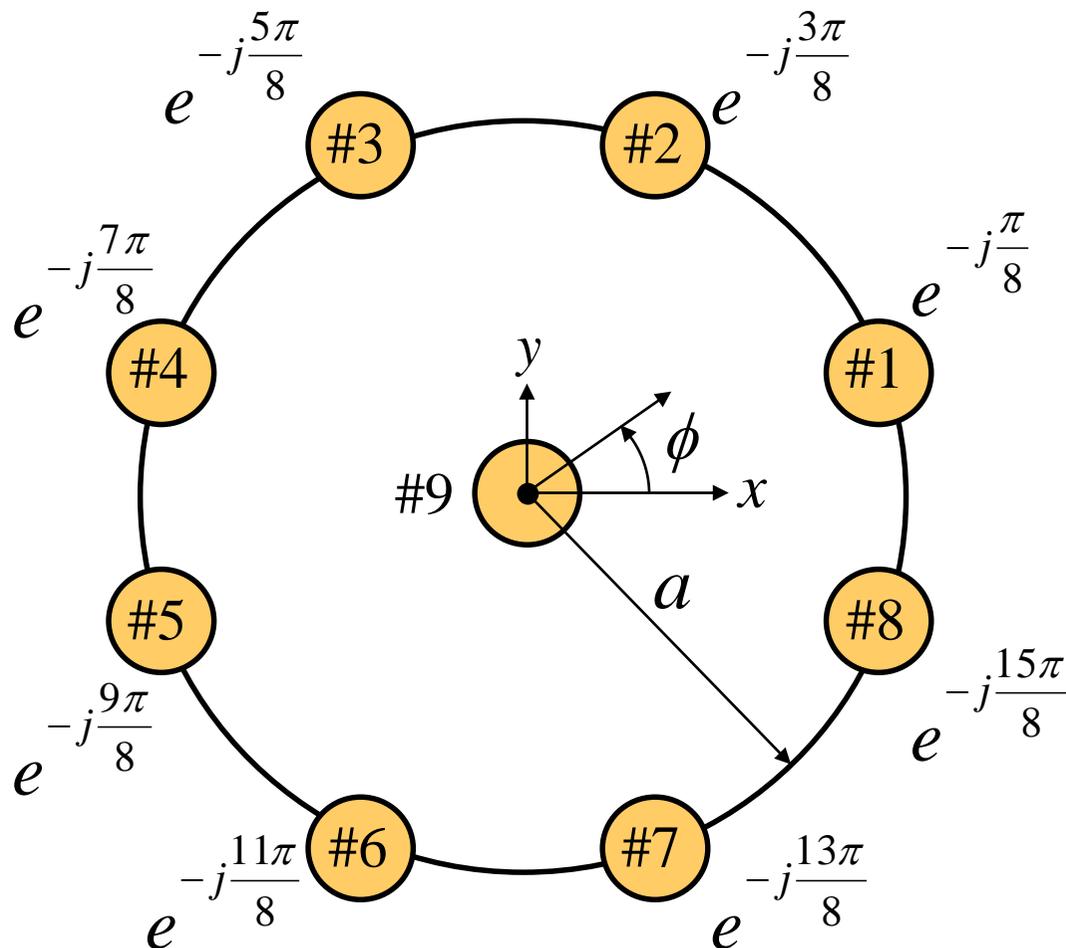
MIMO素子  
配列と直交



②低相関

# 到来波方向推定機能

円周上のアンテナの合成電圧と円の中心のアンテナの電圧の位相角の差で到来波方向を推定可能



推定した到来波方向

$$\phi_m = \angle E_{\Delta} - \angle E_{\Omega}$$

円周上のアンテナの合成電圧

$$E_{\Delta}(\phi) = \sum_{i=1}^8 E_i(\phi)$$

$$E_i(\phi) = e^{\underbrace{j \left\{ k a \cos \left( \frac{\pi}{8} (2i-1) - \phi \right) \right\}}_{\text{受信電圧}} - \underbrace{\frac{\pi}{8} (2i-1)}_{\text{重み関数}}}$$

受信電圧

重み  
関数

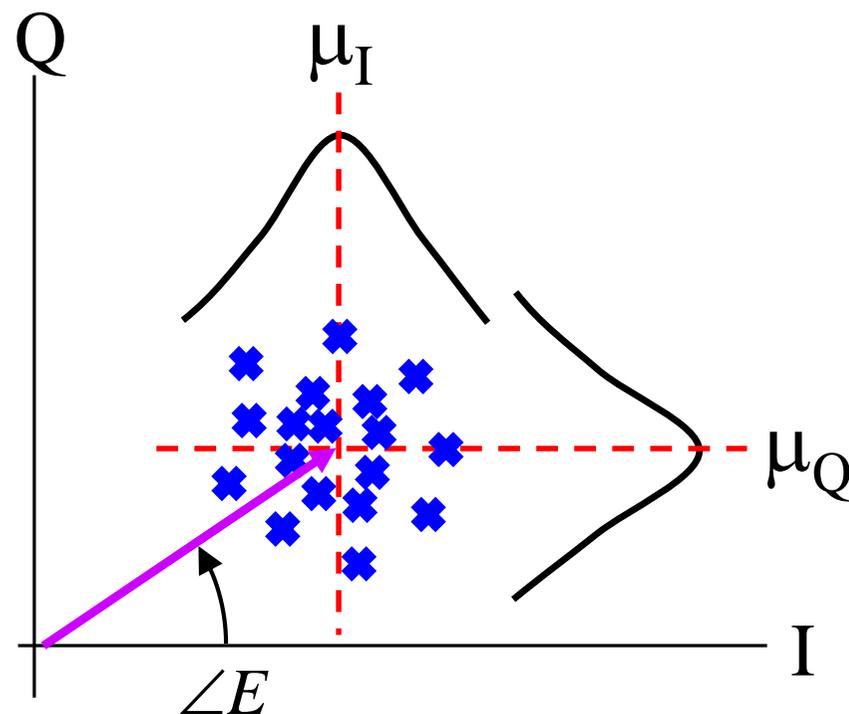
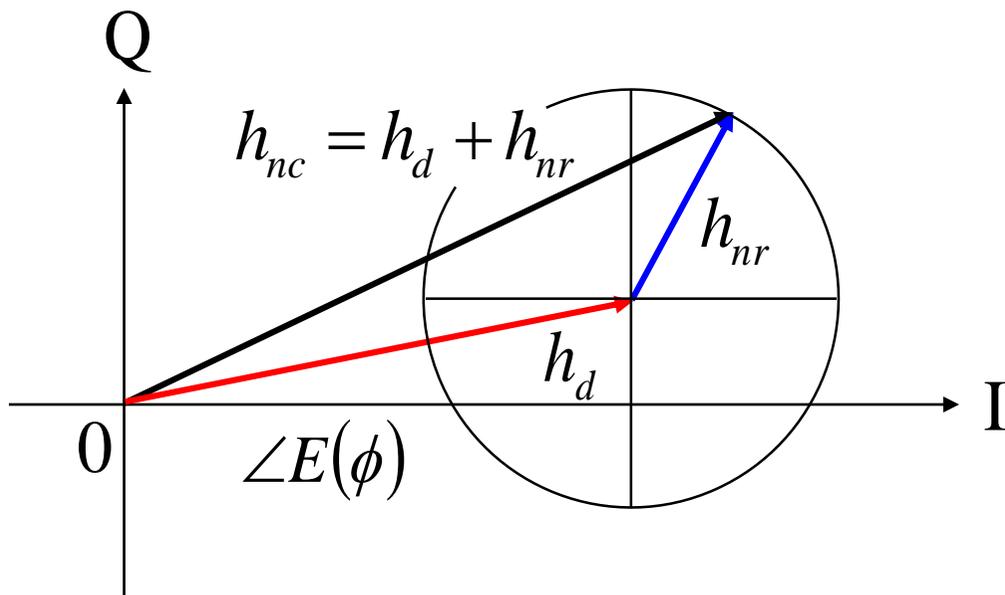
# 平均IQ値判定法

受信される電圧の実部の平均値 $\mu_I$ と虚部の平均値 $\mu_Q$ を用いて電圧の位相を一意に決定する

直接波 $h_d$ の他にビルや樹木などによる反射波 $h_{nr}$ が存在

受信電圧の位相

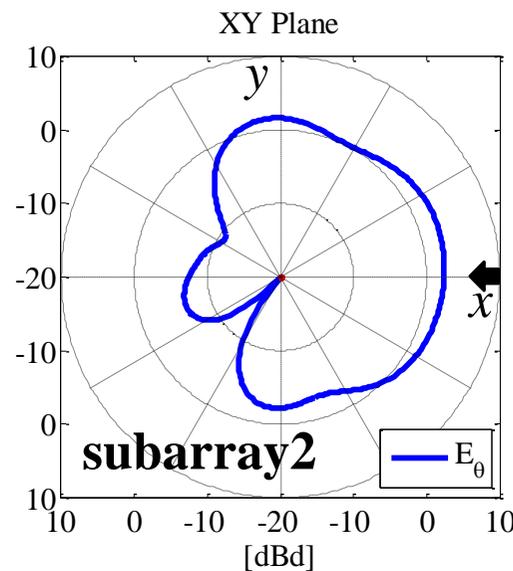
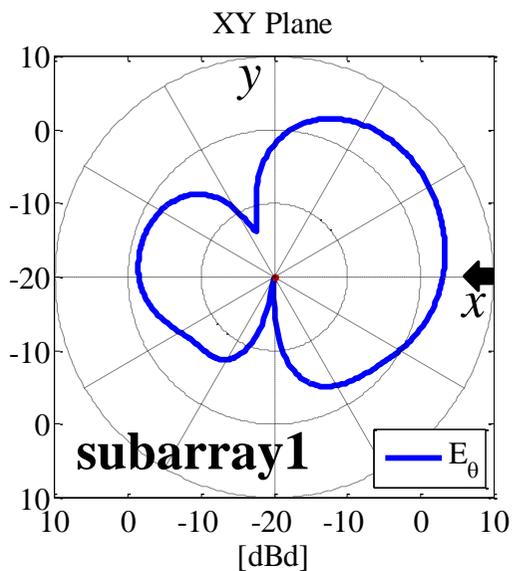
$$\angle E = \tan^{-1} \frac{\mu_Q}{\mu_I}$$



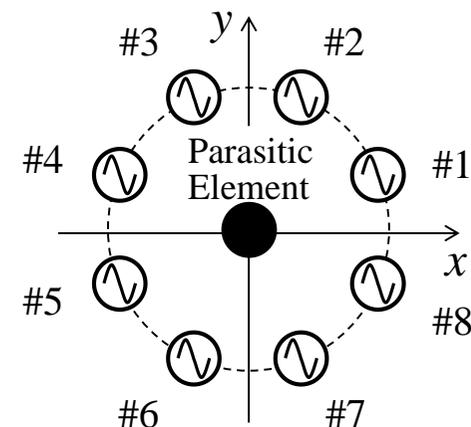
# 各サブアレーのビーム形成

到来波方向の指向性利得が大きくなり、高SNRが期待できる

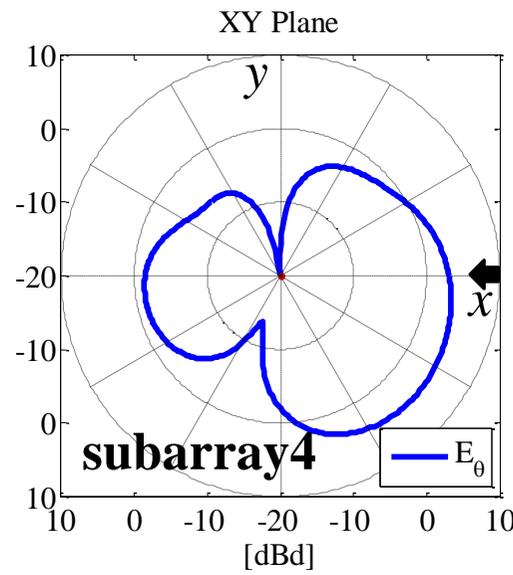
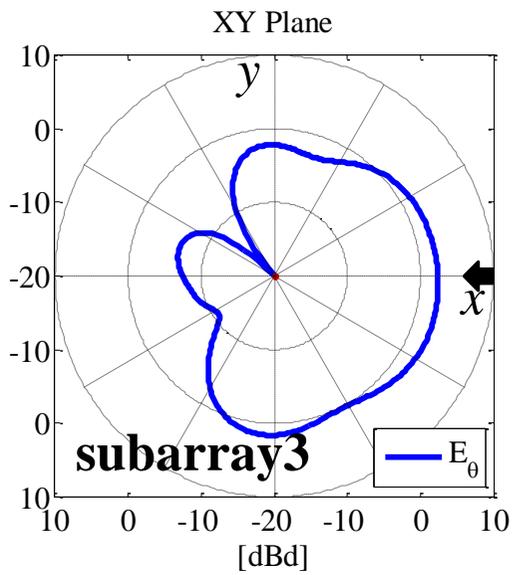
$w_2=1.0$   
 $w_3=0.74$   
 $\tau_2=-140[\text{deg}]$   
 $g_0=3.09[\text{dBd}]$



$w_1=1.0$   
 $w_4=0.24$   
 $\tau_1=-325[\text{deg}]$   
 $g_0=2.41[\text{dBd}]$



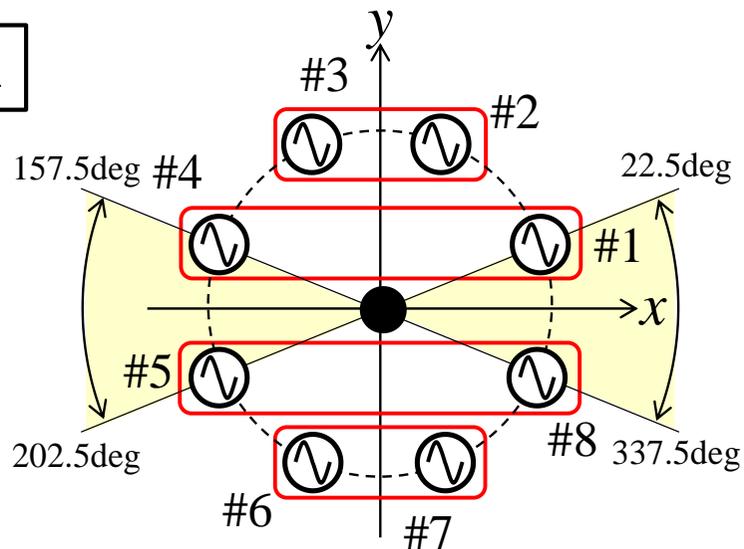
$w_5=0.24$   
 $w_8=1.0$   
 $\tau_8=-325[\text{deg}]$   
 $g_0=2.41[\text{dBd}]$



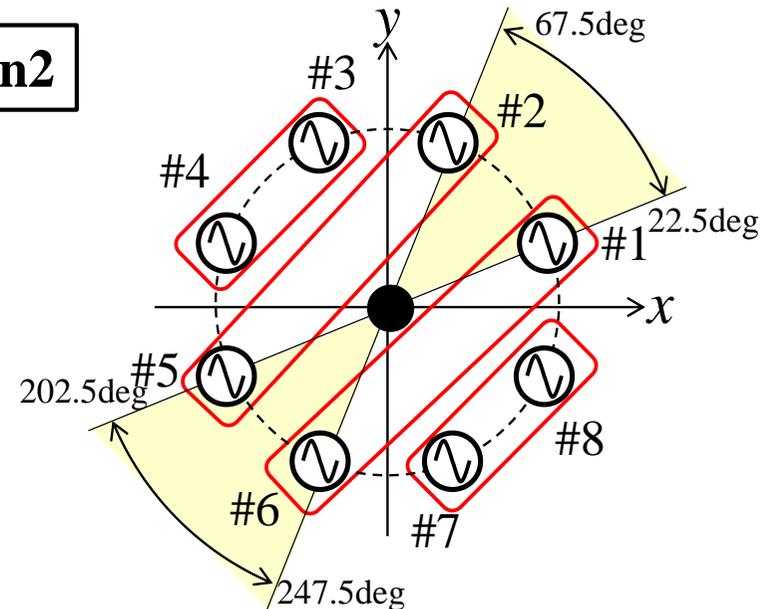
$w_6=0.74$   
 $w_7=1.0$   
 $\tau_7=-140[\text{deg}]$   
 $g_0=3.09[\text{dBd}]$

# 低相関を実現する到来波角度に応じたサブアレーの組合せ

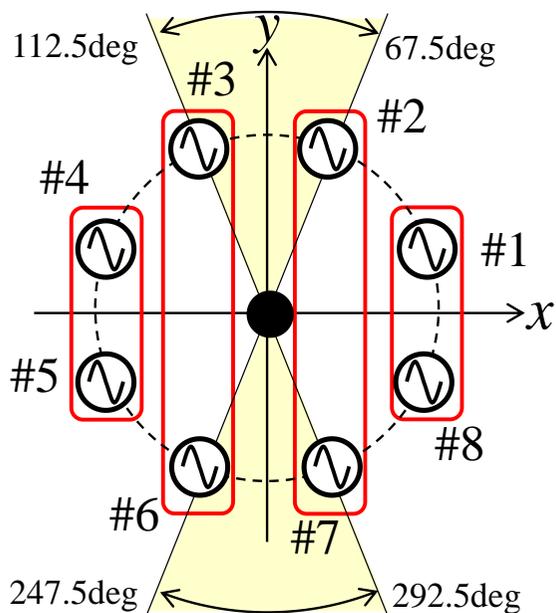
**Combination1**



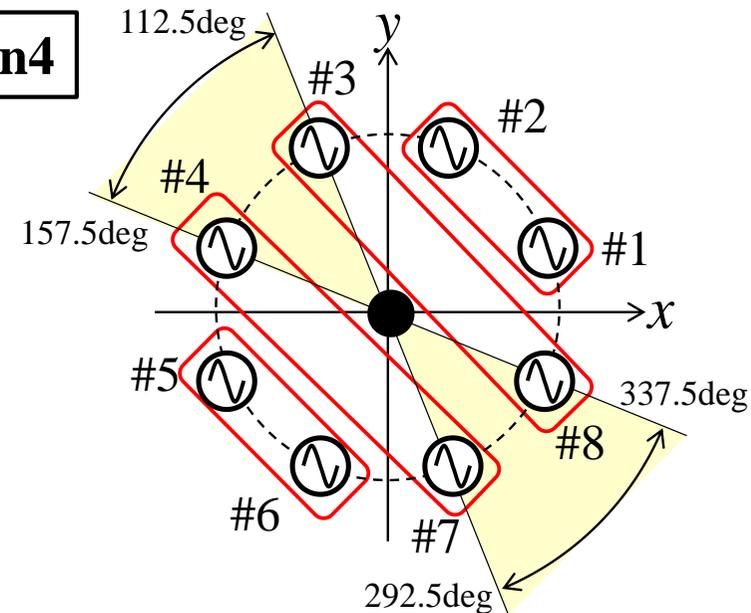
**Combination2**



**Combination3**

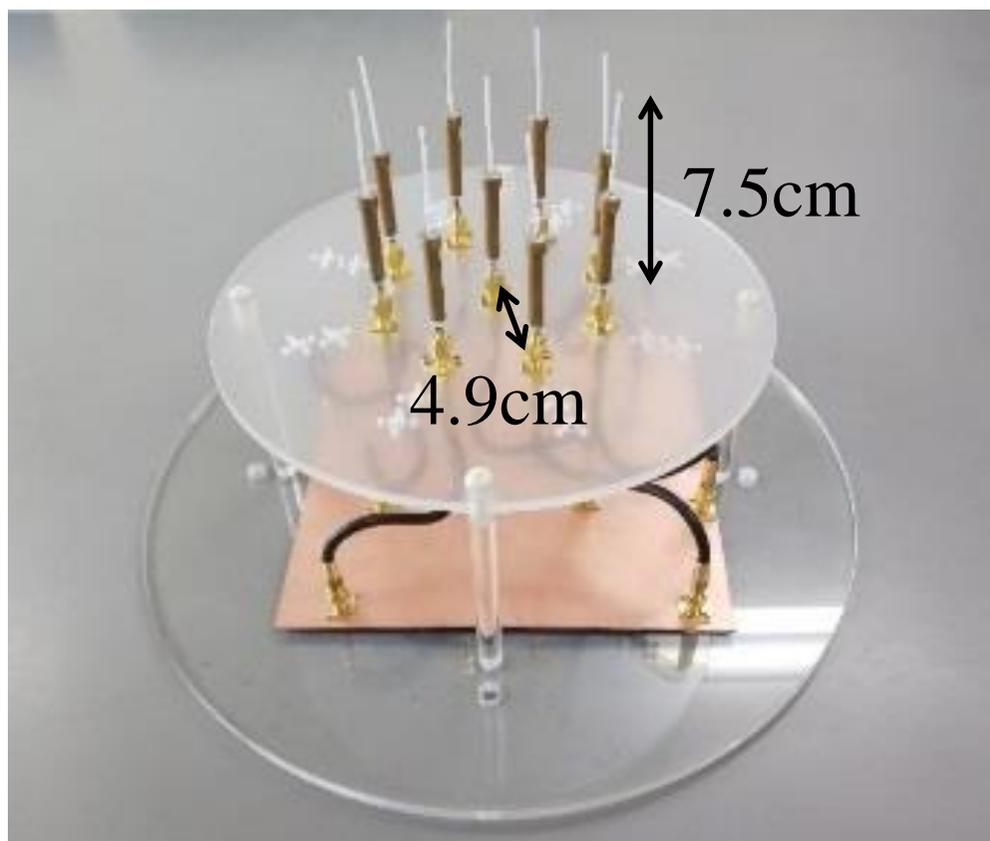


**Combination4**



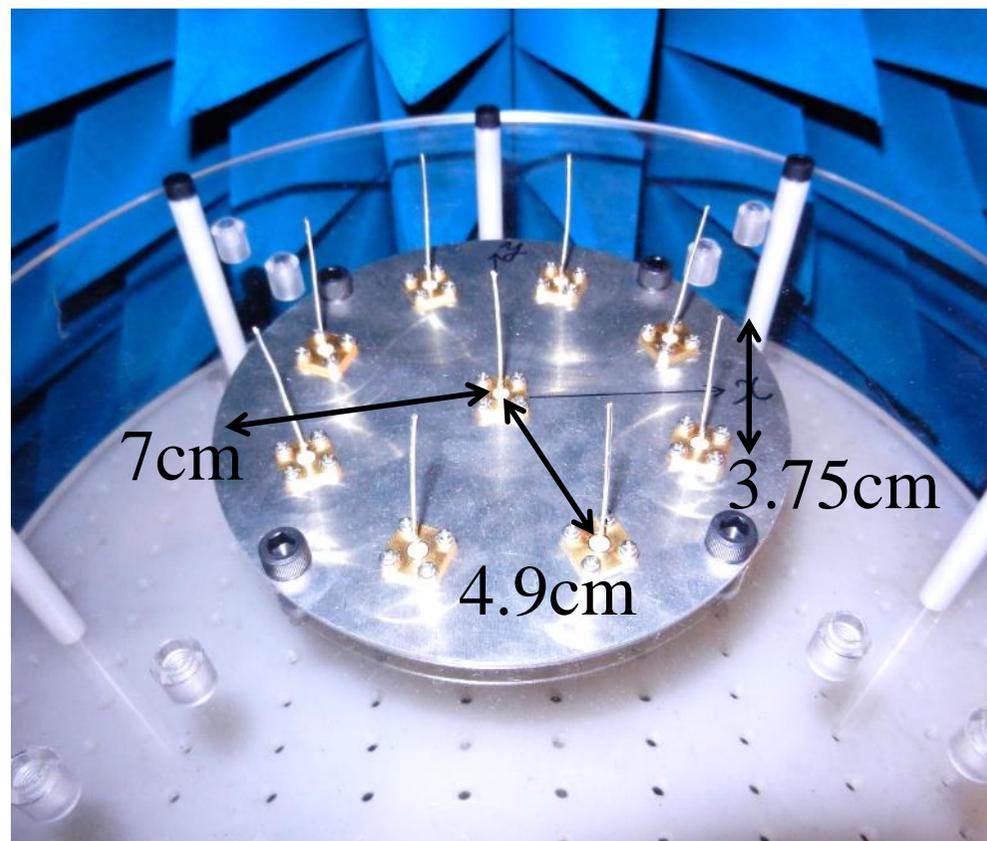
# 試作アンテナ

水平面への放射が主の場合



半波長ダイポールアンテナ

仰角への放射も必要な場合

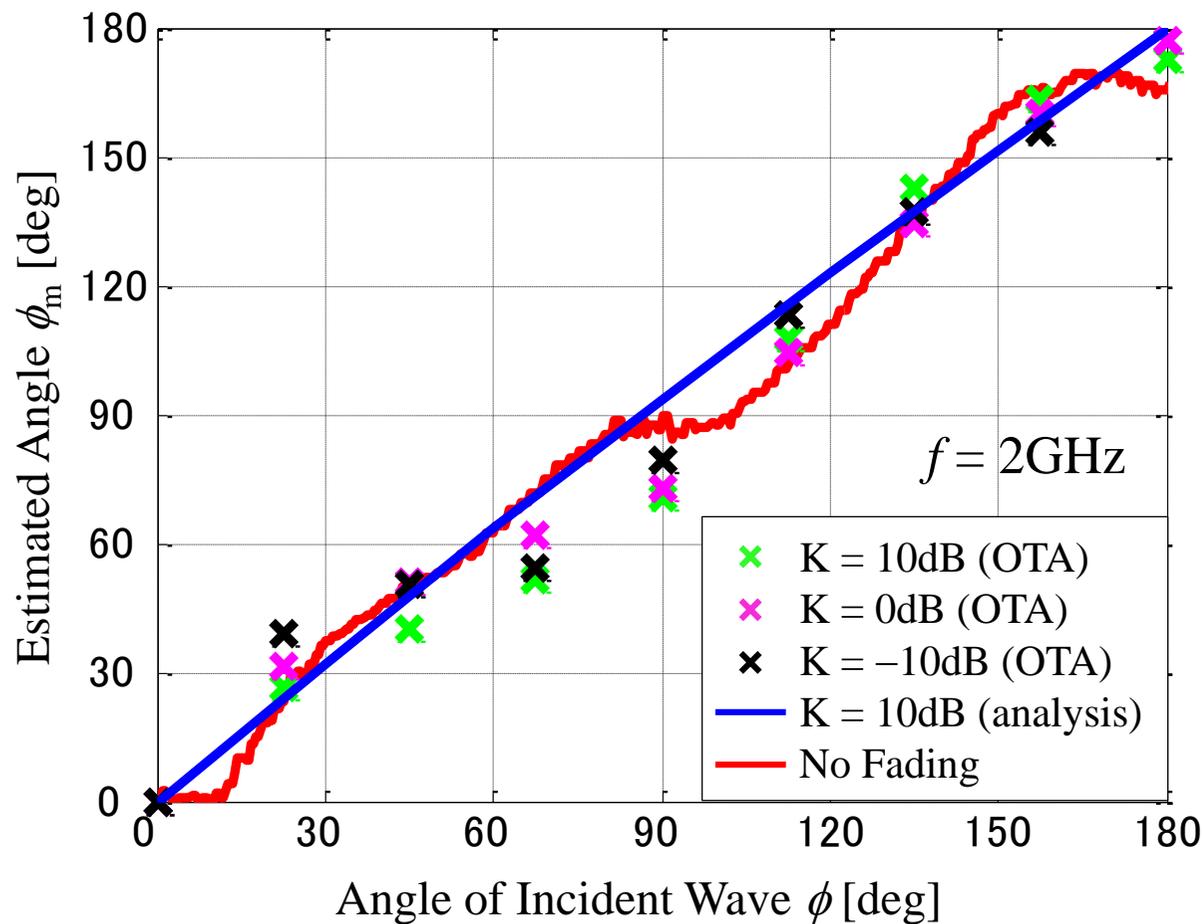
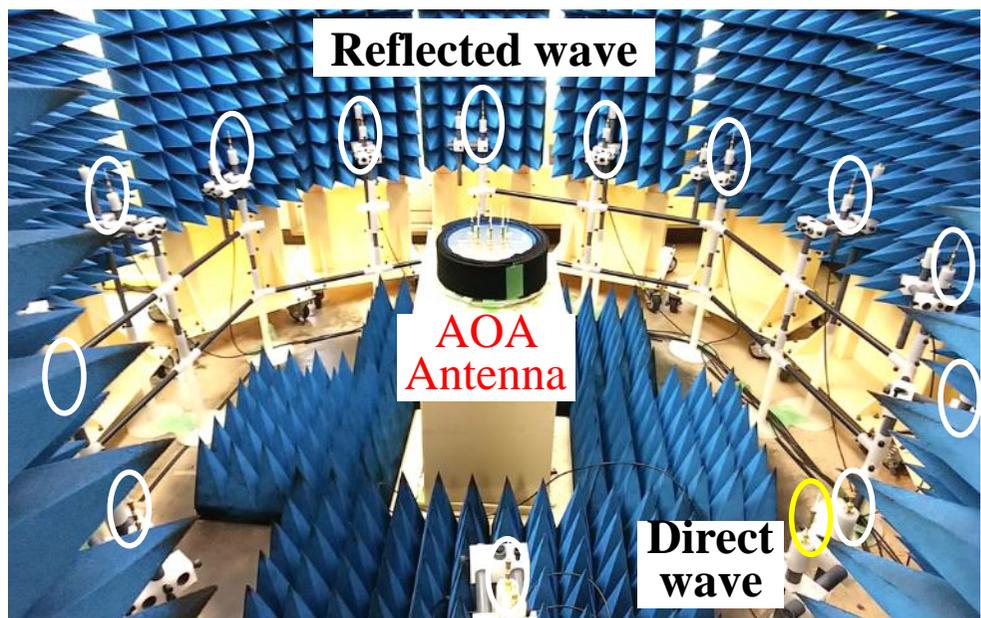


1/4波長モノポールアンテナ

@2GHz

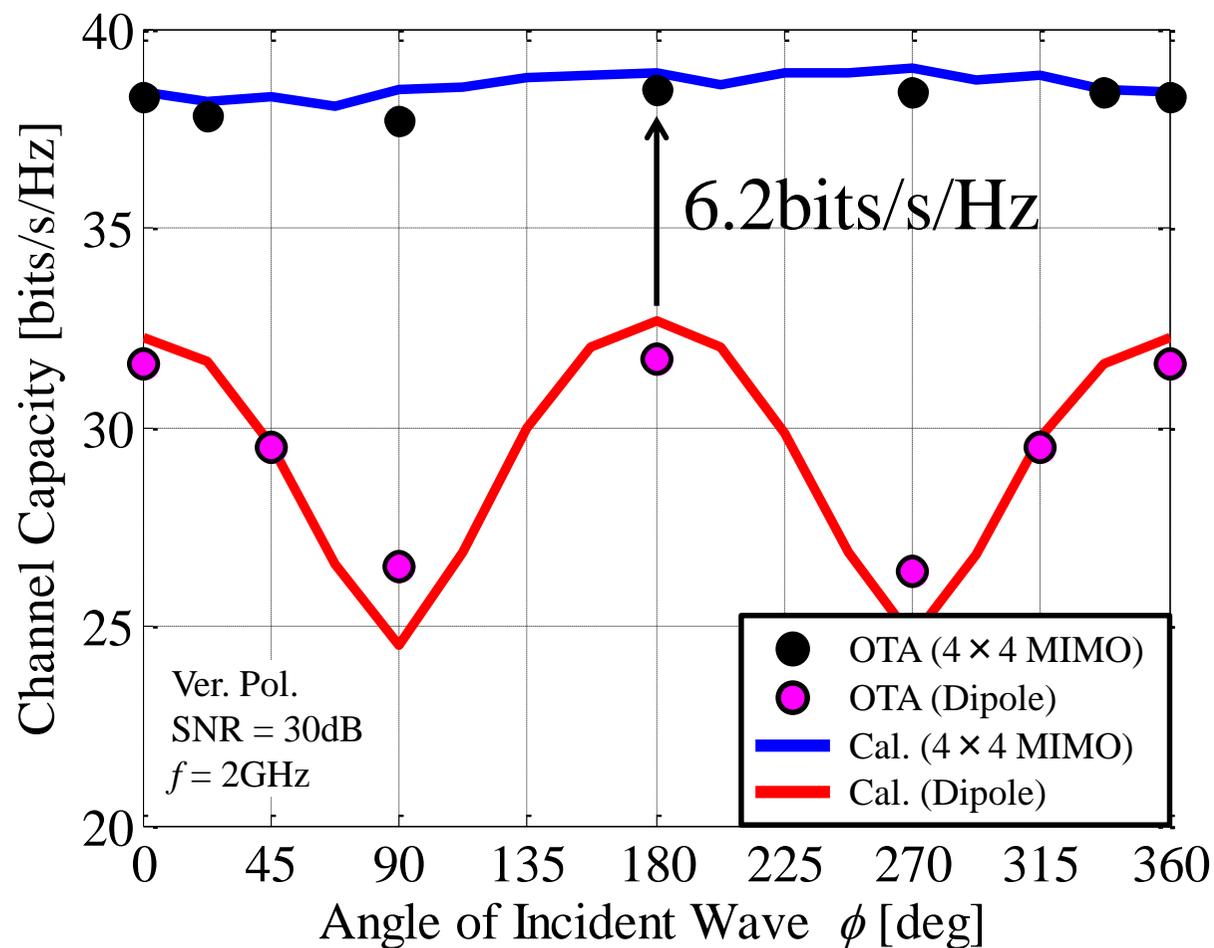
# ライス伝搬環境における推定結果

ライスファクター $K=-10\text{dB}$ における測定結果は、直接波のみの環境(赤線)と同等の推定精度を有している



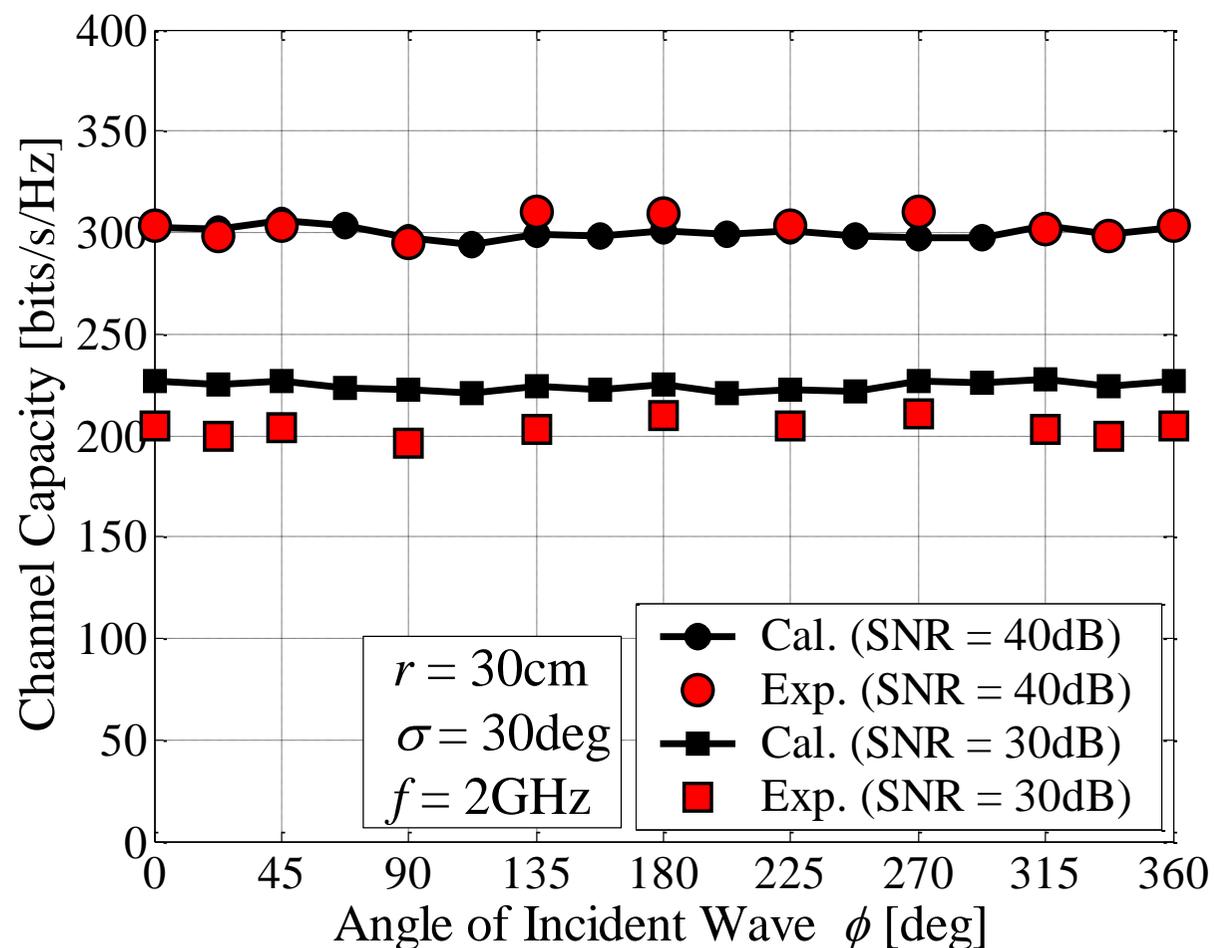
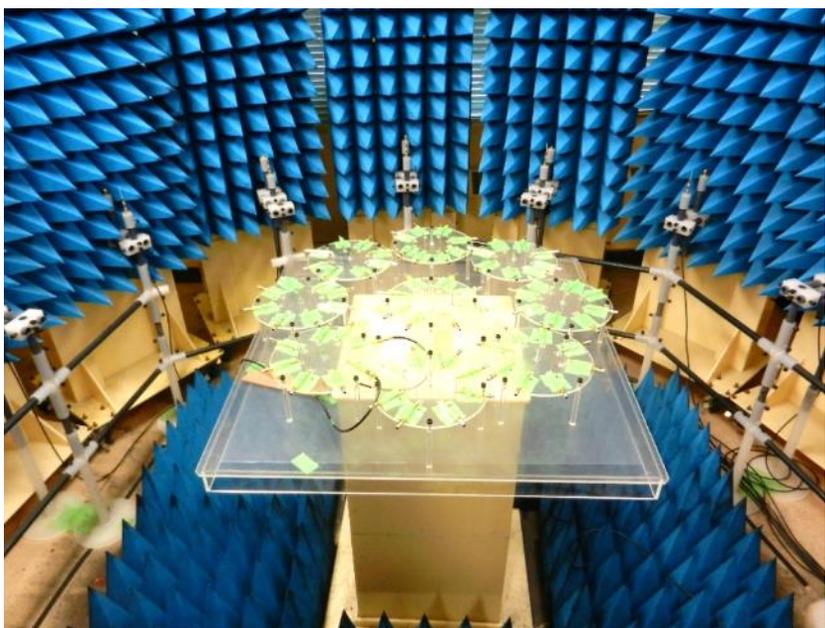
# 4 × 4 MIMO 伝送容量の測定結果

提案アンテナはダイポールアレーと比べて6.2bits/s/Hz以上高い



# 32 × 32MIMO伝送容量の測定結果

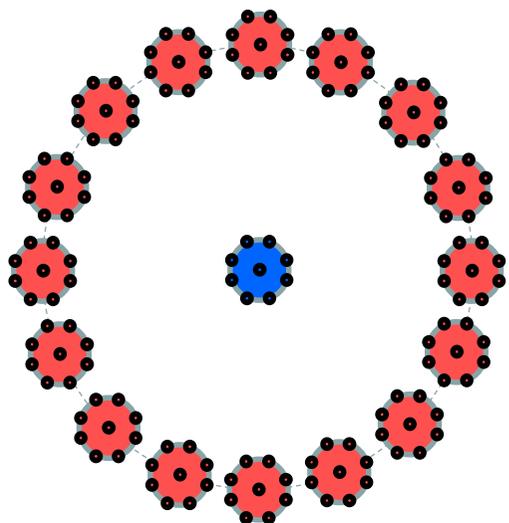
提案アンテナは全アジマス方向に対して30Gbps(SNR=40dB, 帯域幅=100MHz)の超高速通信を実現可能



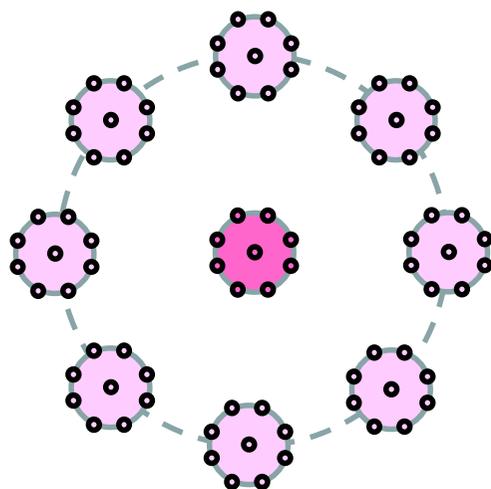
# 世界最速 Beyond V2X

## Daisy Chain MIMO Antenna

64 × 64 MIMO



32 × 32 MIMO

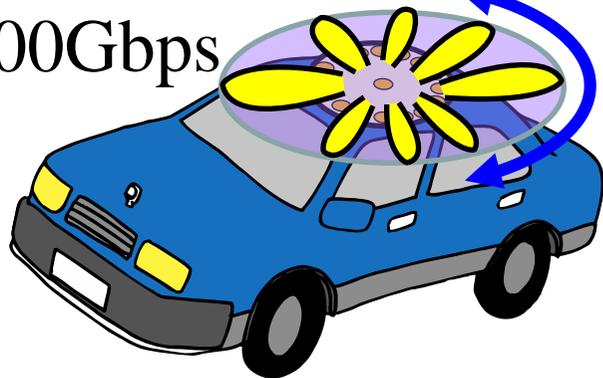


32 × 32 MIMO 車載実験セットアップ



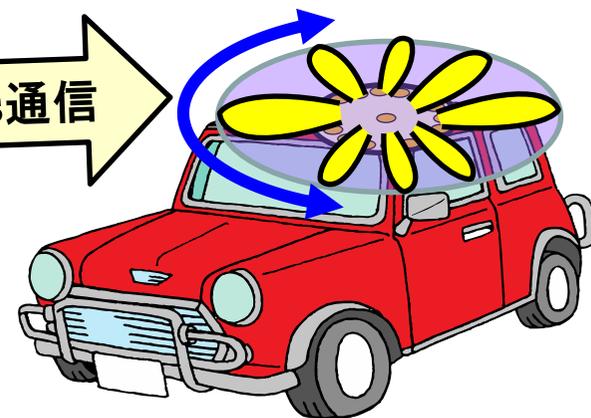
ビームスキャン

全方位 100Gbps



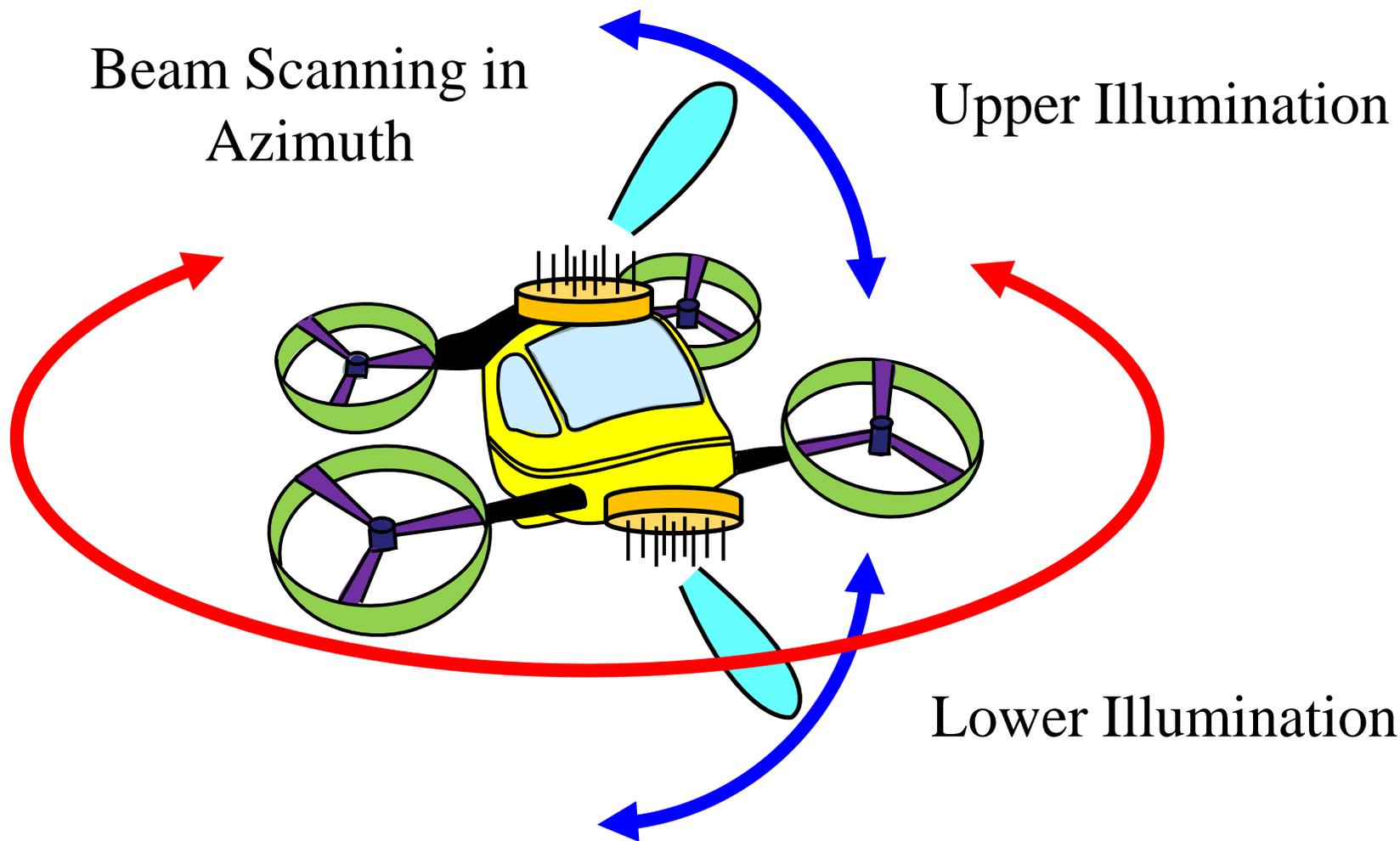
128 × 128 MIMO 100Gbps 通信

世界最速  
Beyond V2X



# MIMO・AOA・モノパルス統合サンドイッチアレー

提案アンテナを空飛ぶ車の上下にとりつけることで様々な飛行ルートでも信頼性の高い車車間通信を実現可能



# 想定される用途

- コネクテッドカーに適用することで全アジマス方位で超高速通信が可能。
- 上記以外に、フライングカー（空飛ぶ車）への応用も期待される。
- また、基地局やwi-fiルーターといった用途に展開することも可能と思われる。

# 実用化に向けた課題

- 現在、OTA(Over-the-Air)評価装置を用いて基礎的な実験検証については確認済み。
- 今後、アンテナ全体をシステム化した試作機を製作し、フィールド実験を行い、性能検証を行う必要有り。

# 企業への期待

- コネクテッドカーの実現に興味のある企業との共同研究を希望。
- また、5Gに関する通信機器を開発中の企業には、本技術の導入が有効と思われる。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : アンテナ装置
- 出願番号 : 特願2018-021436
- 発明の名称 : 方向推定装置および方向推定方法
- 出願番号 : 特願2018-157197
  
- 出願人 : 富山大学
- 発明者 : 本田和博、小川晃一

# 産学連携の経歴

- 2017年4月－2018年3月

総務省 戦略的情報通信研究開発推進  
事業(SCOPE) フェーズⅠ 採択

- 2018年4月－2020年3月

総務省 戦略的情報通信研究開発推進  
事業(SCOPE) フェーズⅡ 採択

# お問い合わせ先

**富山大学**

**産学官連携コーディネーター 山本 肇**

**TEL 076-445-6391**

**FAX 076-445-6939**

**e-mail [yamaha@ctg.u-toyama.ac.jp](mailto:yamaha@ctg.u-toyama.ac.jp)**