

# 角度高分解能・車載ミリ波レーダを実現する アレーアンテナ信号処理技術

茨城大学 工学部  
武田 茂樹

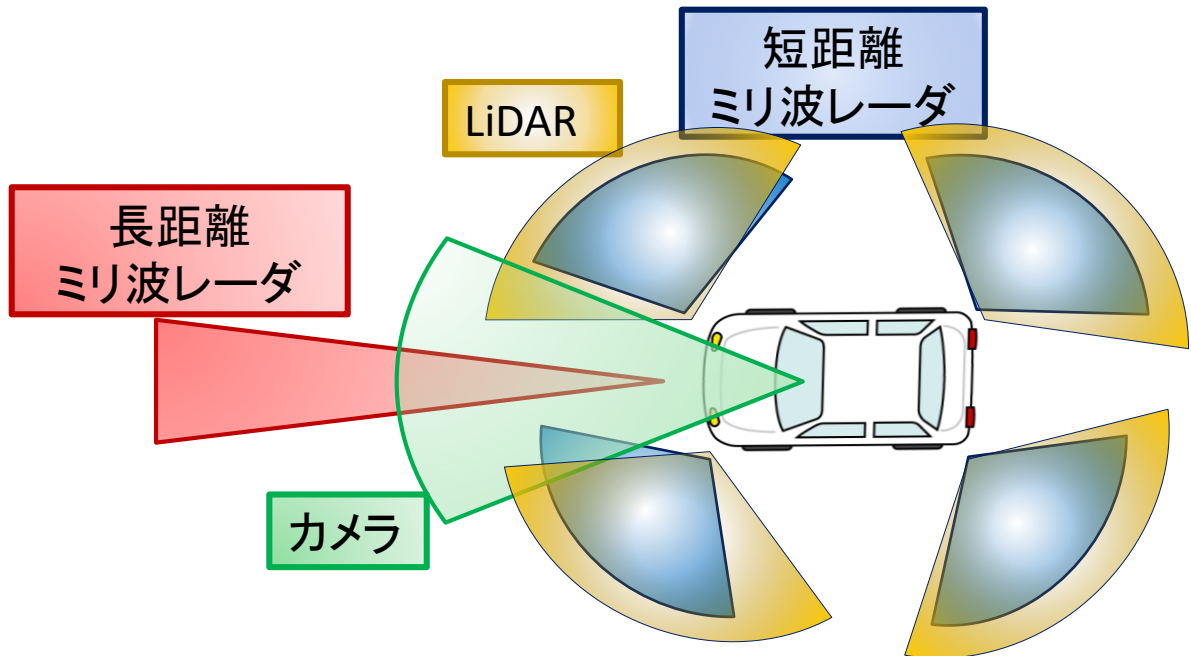
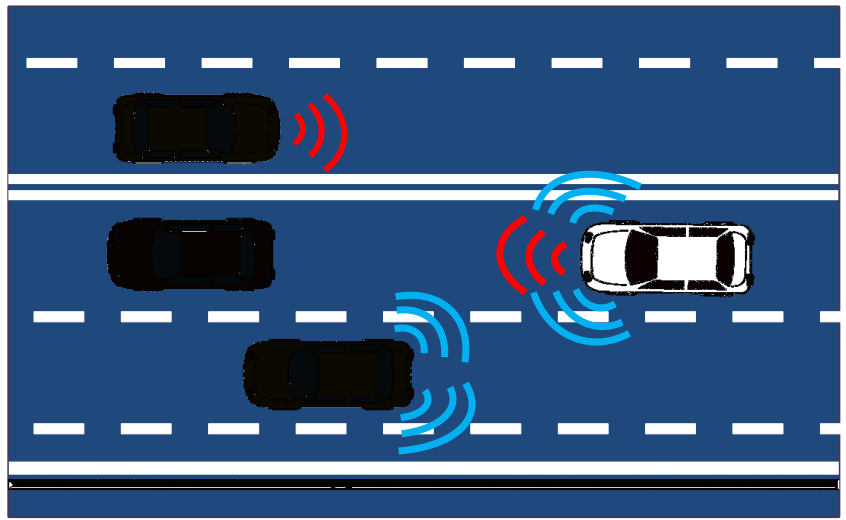
# 仮想拡張アレーアンテナ信号処理

1. ミリ波レーダと角度推定
2. MIMOレーダ(多入力多出力レーダ)
3. 線形予測による仮想拡張アレーアンテナ

# 仮想拡張アレーアンテナ信号処理

1. ミリ波レーダと角度推定
2. MIMOレーダ(多入力多出力レーダ)
3. 線形予測による仮想拡張アレーアンテナ

# 自動車用センサ



## ADAS／自動運転用センサー、2025年に 2.4兆円規模へ

<https://eetimes.jp/ee/articles/2010/27/news033.html>

**安全運転や自動運転への期待の高まり**

**ドライブレコーダを思い浮かべてください**

**レーダも、なくてはならないものになります**

# 車載ミリ波レーダの位置づけ

## ■ 最近のMobilityに関連する話題

- ・CASE: Connected (コネクティッド)、Autonomous/Automated (自動化)、Shared (シェアリング)、Electric (電動化)
- ・先進運転支援システム (Advanced Driver-Assistance Systems: ADAS)
- ・自動運転 (Autonomous Driving)
- ・**テスラ (CEO Elon Reeve Musk) の時価総額が、一時、40兆円を超える**
- ・**Mobility分野における破壊的イノベーションに立ち向かう必要がある**
- ・**携帯電話におけるガラパゴス化への反省**

## ■ ADASや自動運転のためのセンシング技術

Primary : カメラによる画像処理

Secondary : ミリ波レーダ、LiDAR (light detection and ranging、光による検知と測距)

## ■ ミリ波レーダの特徴:

- ・無線部や信号処理部をすべてワンチップCMOS半導体で製造できるため、LiDARよりも、**低コスト、小型軽量化 (全体でSmartphoneサイズ程度)**、高信頼を実現
- ・悪天候、夜間、強い光の環境下、カメラの死角などへの対応

## ■ ミリ波レーダの問題点

- ・物体の大きさ、形状、位置、数などを特定する機能 (イメージング) 性能が劣る
- ・**350m、0.6° 角度分解能など、sub-1° が研究開発の目標** → Radarがprimaryに

# ミリ波レーダと半導体技術

## AWR1642 Single-Chip 77- and 79-GHz FMCW Radar sensor

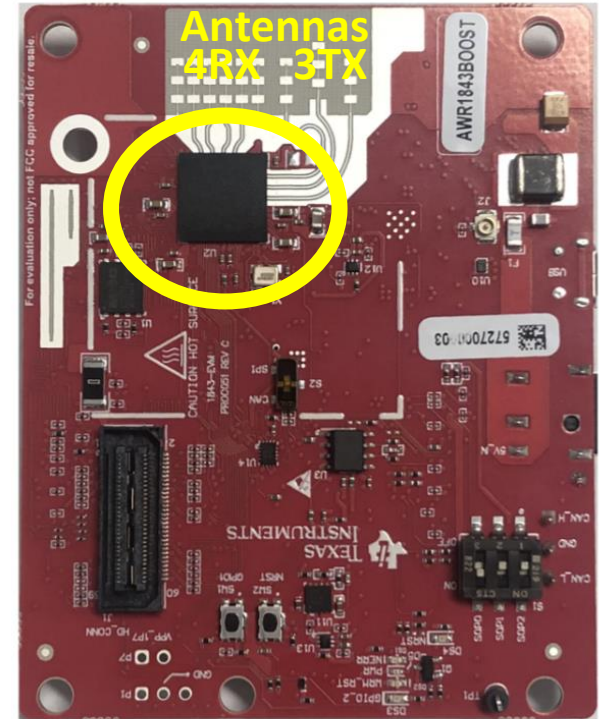
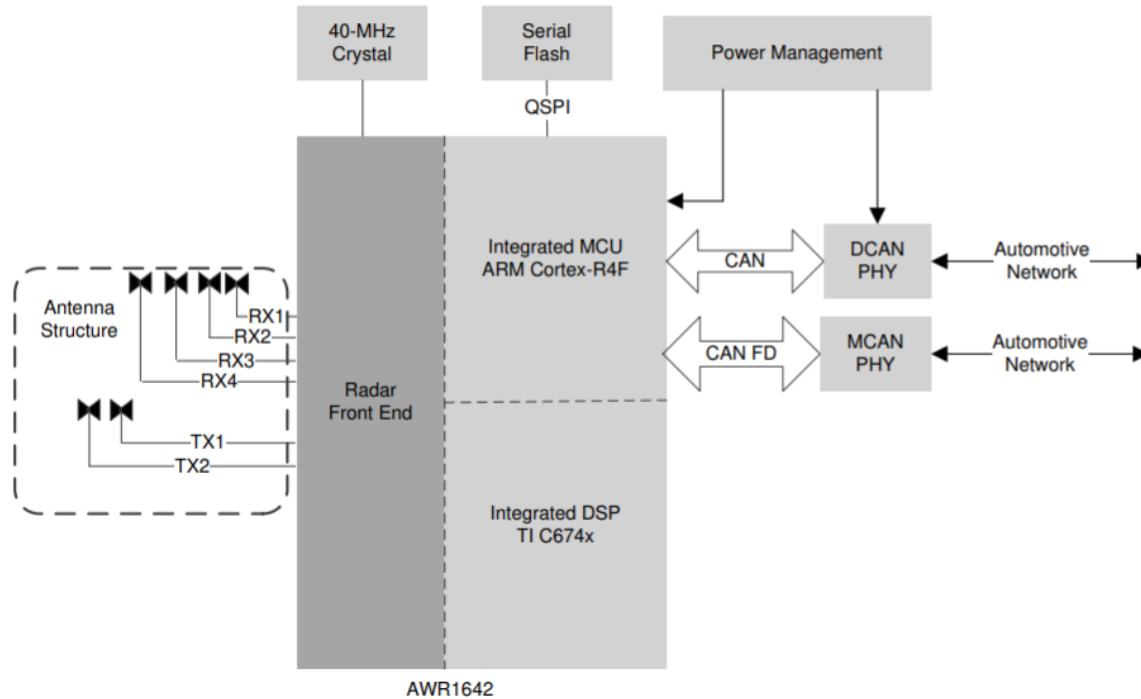


Figure 1. EVM (Front)

## TI's low-power 45-nm RFCMOS

半導体による低コスト、小型、軽量化

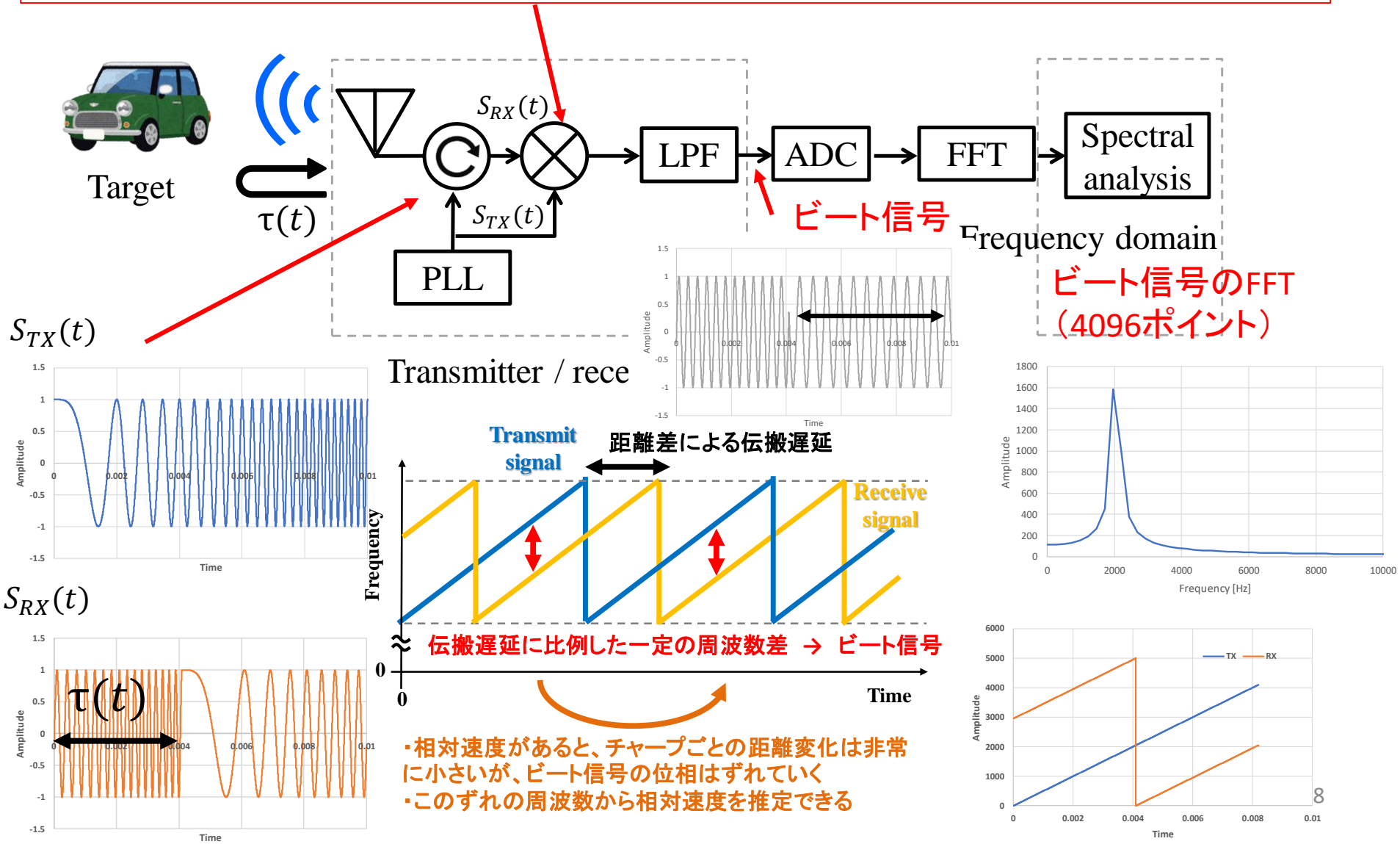
- [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/awr1642.pdf?ts=1605751577700&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FAWR1642](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/awr1642.pdf?ts=1605751577700&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FAWR1642)
- [https://www.tij.co.jp/jp/lit/ug/spruim4b/spruim4b.pdf?ts=1605156777391&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.tij.co.jp%252Ftool%252Fjp%252FIWR1843BOOST](https://www.tij.co.jp/jp/lit/ug/spruim4b/spruim4b.pdf?ts=1605156777391&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.tij.co.jp%252Ftool%252Fjp%252FIWR1843BOOST)
- <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/awr1843.pdf?ts=1605149014083>

# FMCWレーダ（距離Rangeと相対速度Velocityの測定）

（Frequency Modulated Continuous Wave radar）

[参考情報]

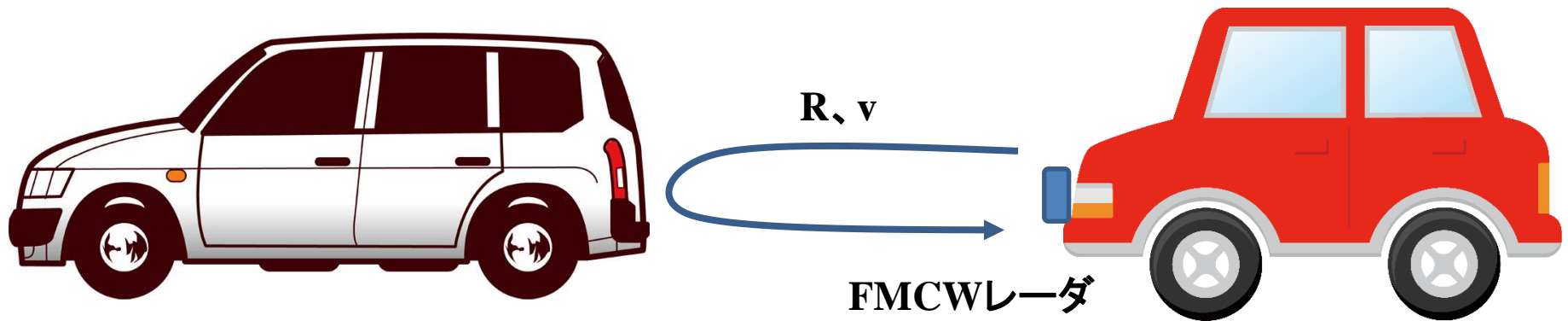
$$\text{乗算器(ミキサ)の動作 } \cos(\omega_1 t) \times \cos(\omega_2 t) = \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 + \omega_2)t] + \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t]$$





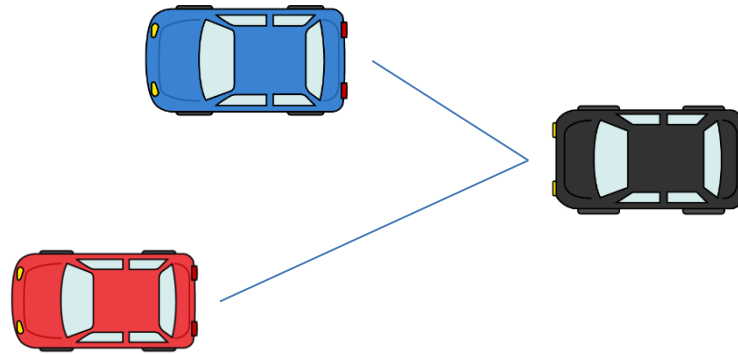
# FMCWレーダ（距離Rangeと相対速度Velocityの測定）

（ Frequency Modulated Continuous Wave radar）

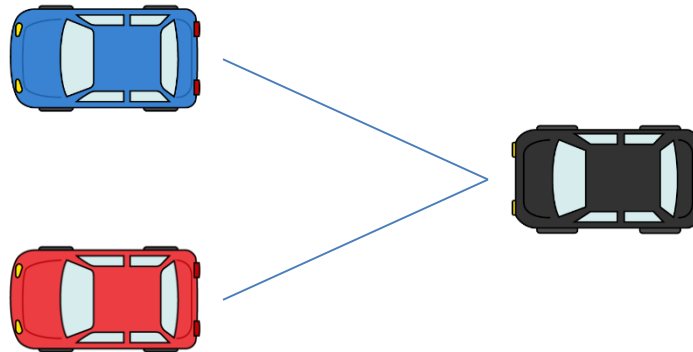


広い周波数帯域を利用して前方車両の  
**距離 Range**  
**相対速度 Relative Velocity**  
を高精度に測定

# FMCWレーダにおける角度高分解能到来方向推定



距離もしくは相対速度が異なる場合、個々の車両を分離し、それぞれの角度推定を行えるため、角度高分解能な到来方向推定は必要ない

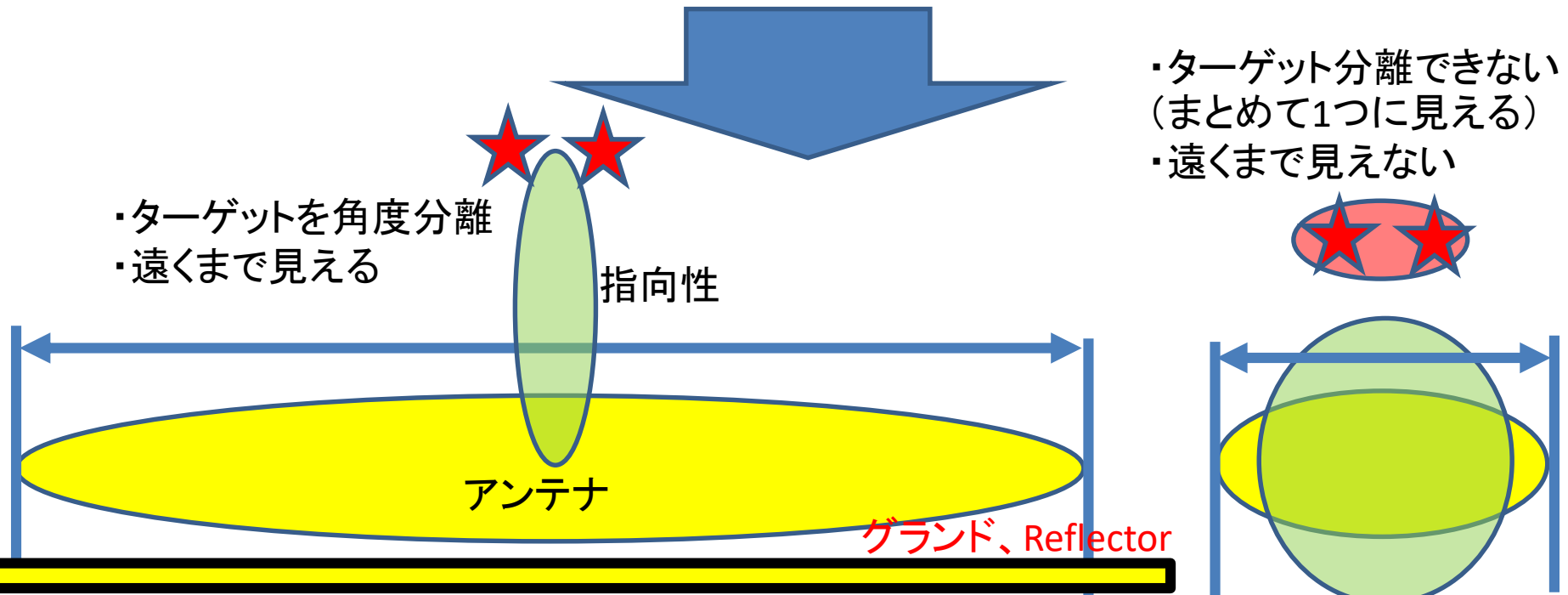


距離と相対速度が同一の場合は、2車を分離できない。2台の車両にまとめて角度推定を適用する必要がある。従って、角度差が小さい場合は、角度高分解能な到来方向推定が必要となる。

このような例を想像してください

## アルマ望遠鏡、地球規模の 巨大電波望遠鏡の一部に

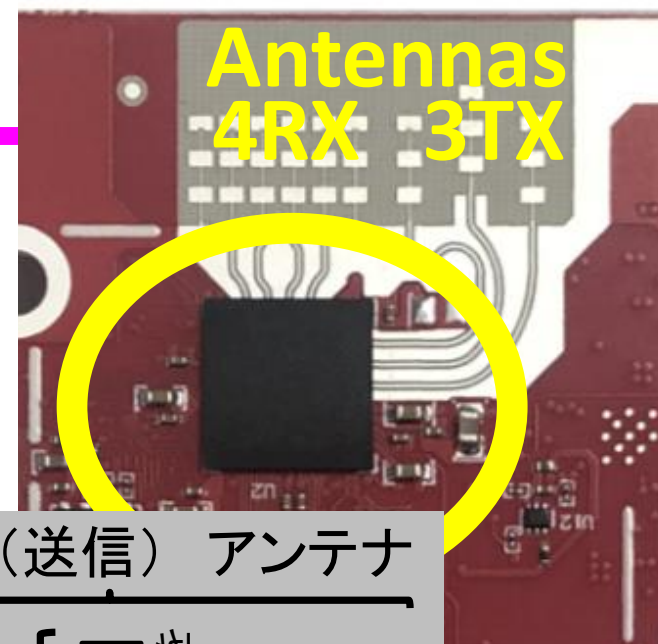
[https://alma-telescope.jp/news/mt-post\\_623](https://alma-telescope.jp/news/mt-post_623)



端から端の長さ(開口)が大きいアンテナの指向性は鋭い  
→ アレーアンテナ → 角度高分解能

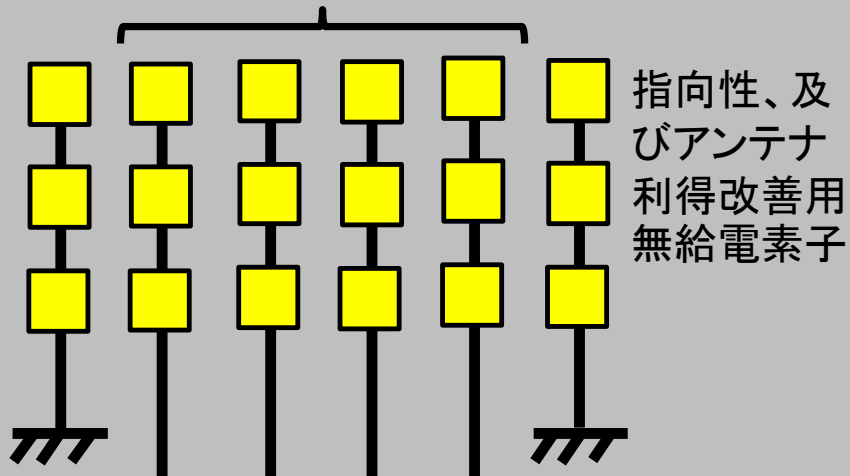
# ミリ波レーダの例

アンテナ構成  
(後に示すMIMOレーダ用)  
(多入力多出力レーダ)

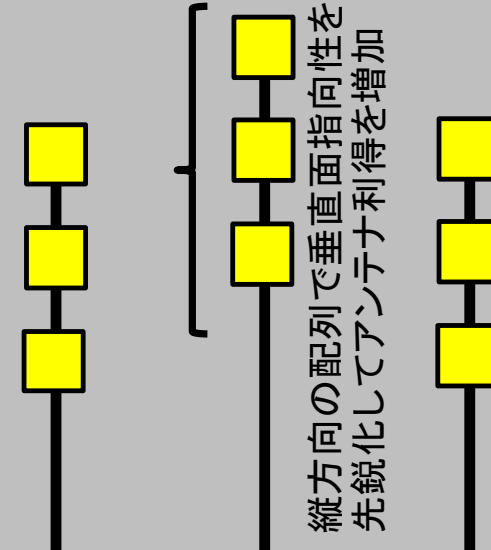


(グランド付き誘電体基板)

4 RX(受信) アレーアンテナ



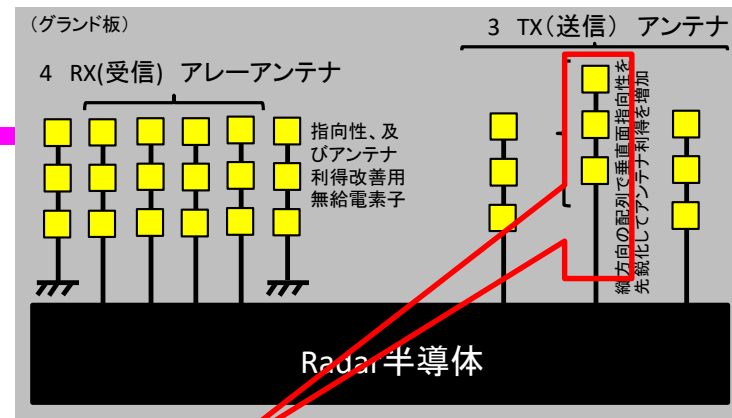
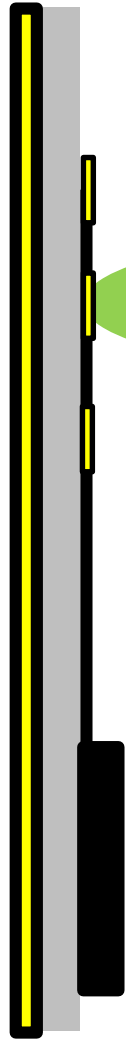
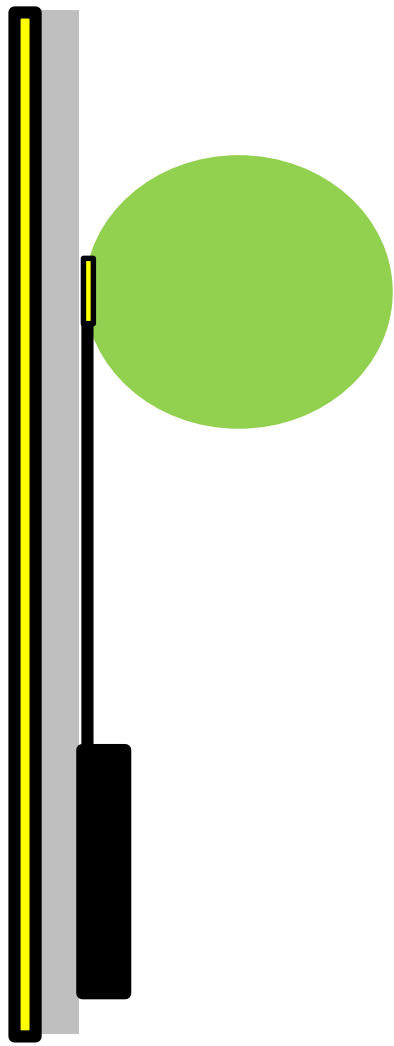
3 TX(送信) アンテナ



Radar半導体

# ミリ波レーダの例

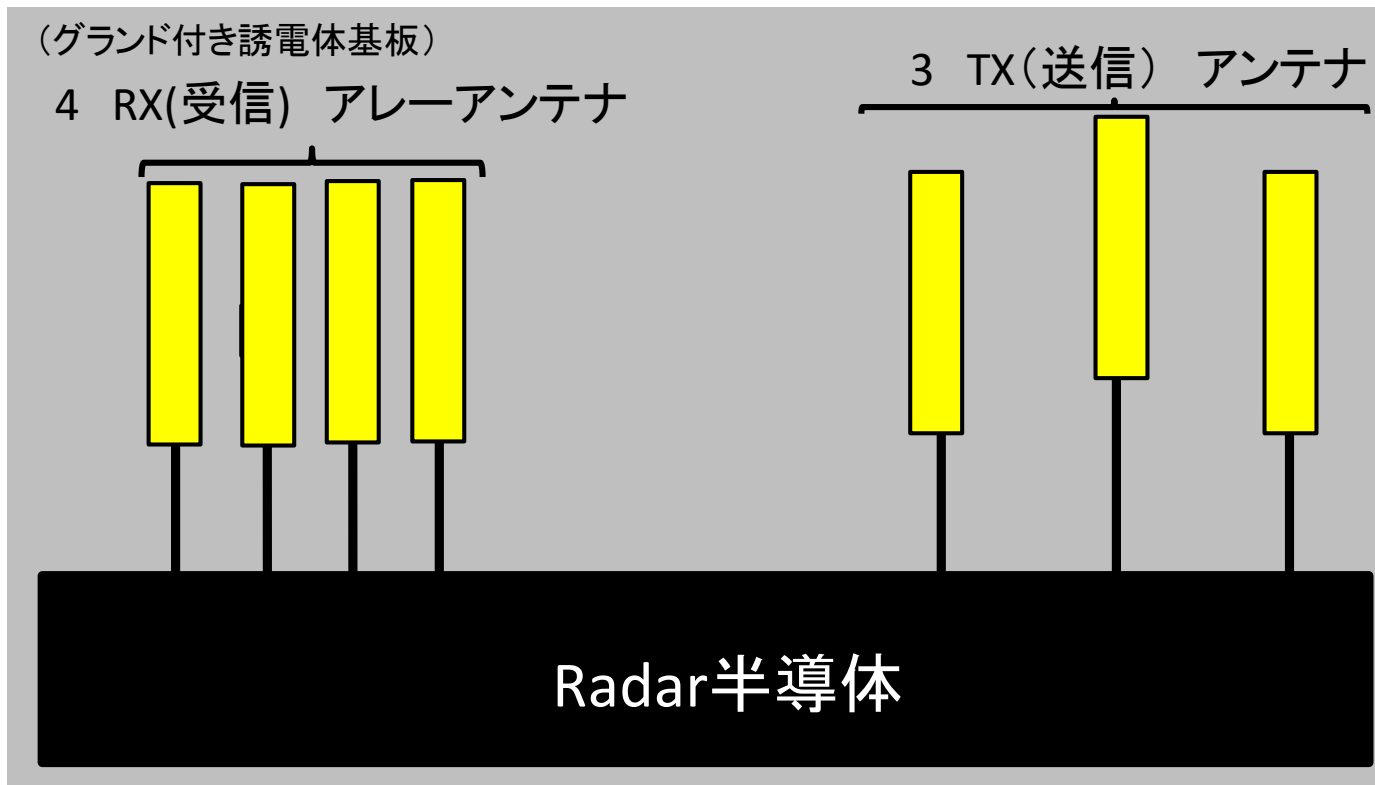
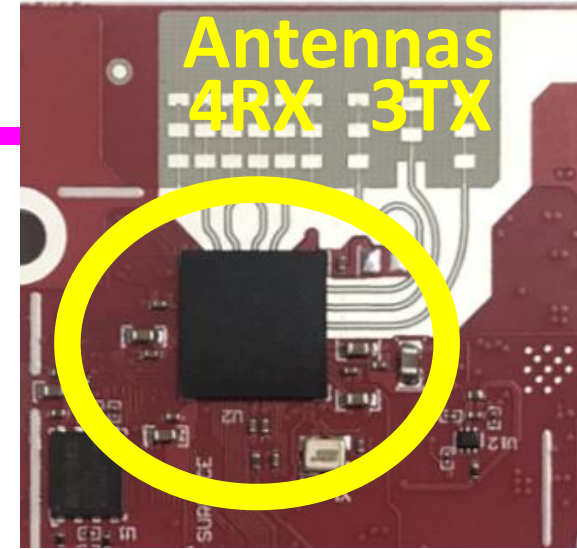
(グラウンド付き誘電体基板)



- ・前頁のアンテナを横から見たもの
- ・縦方向アレーアンテナにより電力の集中度が増加し、測定距離を拡大できる
- ・3個アンテナが並び、紛らわしいが、一個の指向性の鋭いアンテナと考えればよい

# ミリ波レーダの例

縦配列アンテナを開口の広い1個のアンテナとみなすと、水平面における横方向のアレーアンテナになる



# 仮想拡張アレーアンテナ信号処理

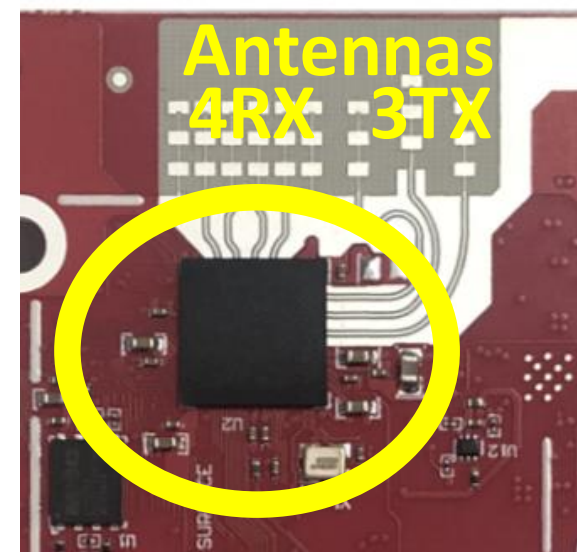
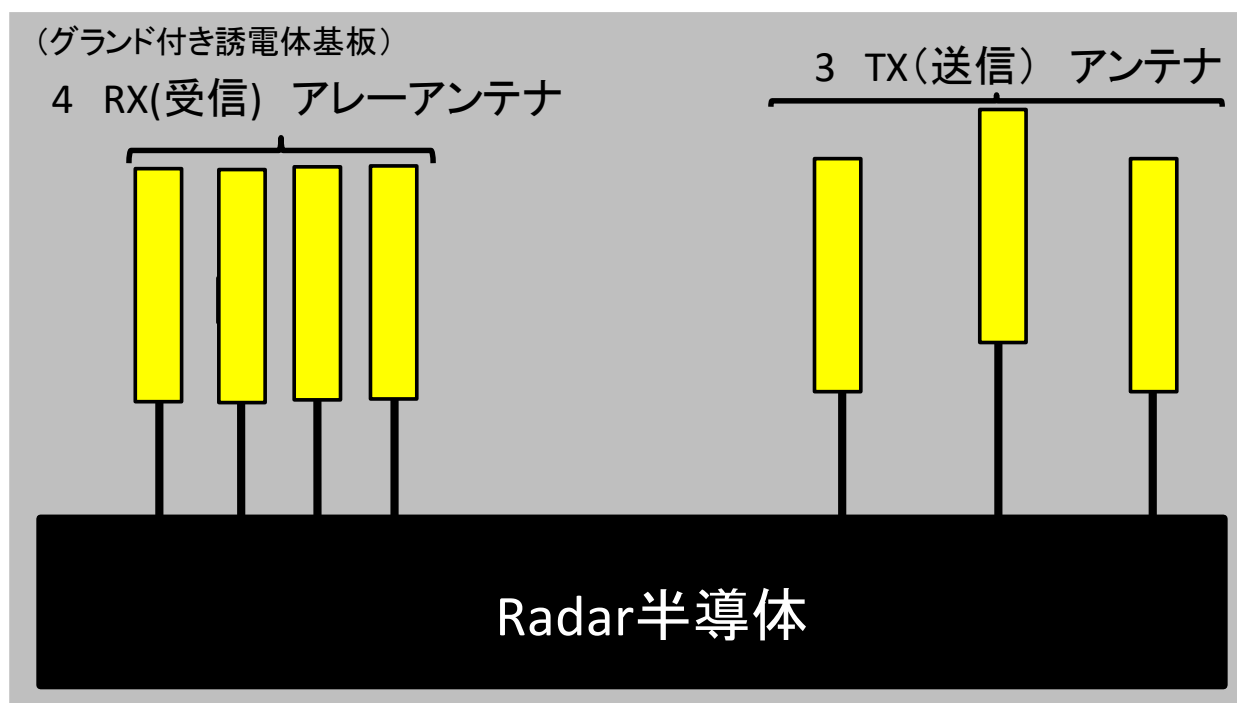
1. ミリ波レーダと角度推定

2. MIMOレーダ(多入力多出力レーダ)

3. 線形予測による仮想拡張アレーアンテナ

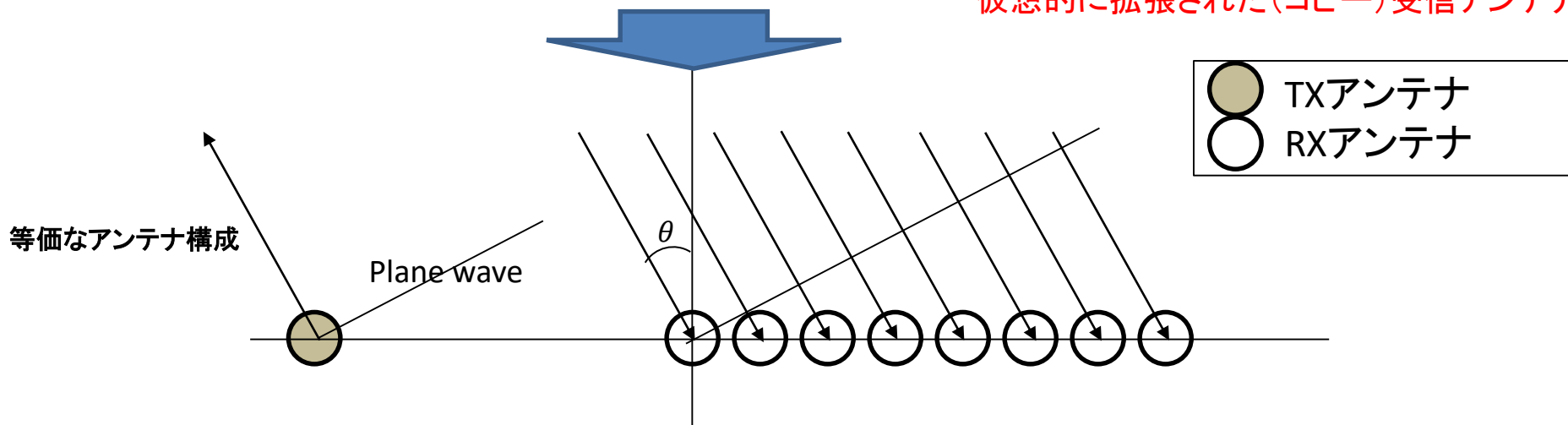
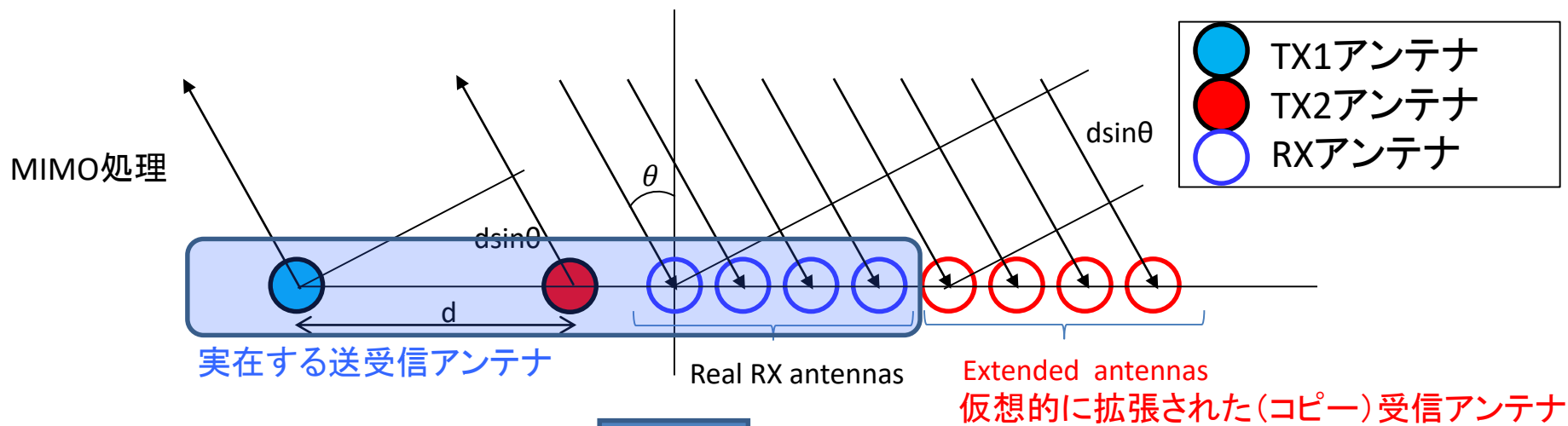
# 受信アレーアンテナの仮想的拡張法(MIMO(多入力多出力)レーダ処理)

複数の送信アンテナで仮想的な受信アレーアンテナを実現





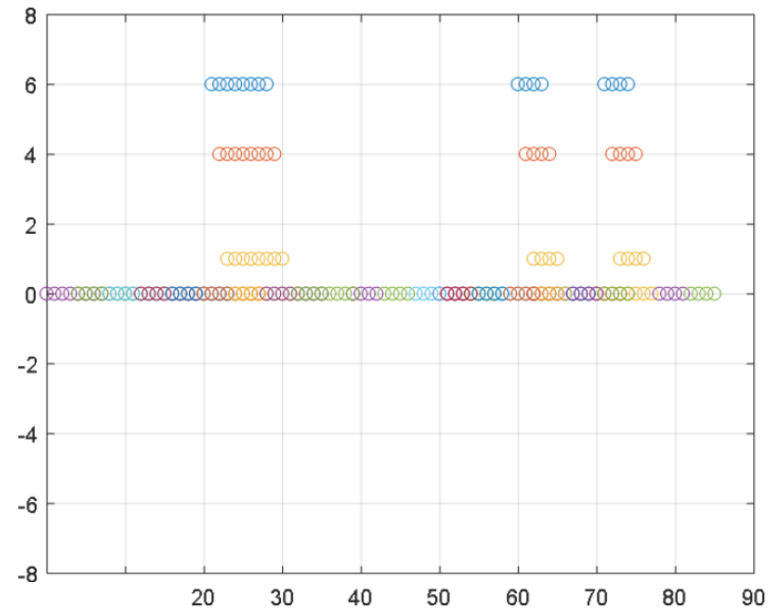
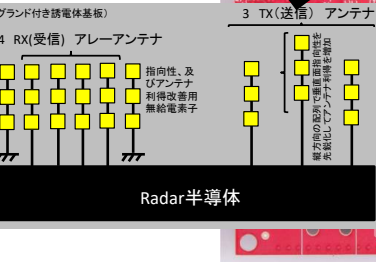
# 受信アレーアンテナの仮想的拡張法(MIMO(多入力多出力)レーダ処理)



送信アンテナ数 × 受信アンテナ数  
= 仮想的な受信アンテナ数  
(半導体コストを低減できる → 安くなる)

# 受信アレーアンテナの仮想的拡張法 (MIMOレーダ処理) (カスケード接続)

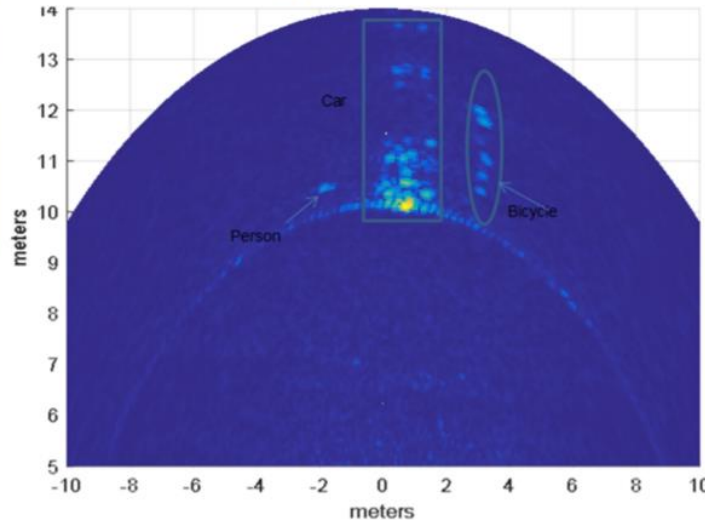
Cascaded Four Radar ICs  
(MIMO radar 12 TX × 16 RX=192 RX )  
RF系統28で、  
192本の受信アンテナを仮想的に実現



### 3.2.3.3 Car, Pedestrian, and Other Targets Close Range Separation

A test was performed showing the AWR1243P MIMO radar is able to separate a person and a bicycle at different lateral distances away from the car. This represents a more challenging scenario due to the pedestrian (or another low RCS object) occupying the same range bin as the high reflecting point from the car (high RCS object).

Figure 11. Bicycle and Person 1.5 m Away From Vehicle

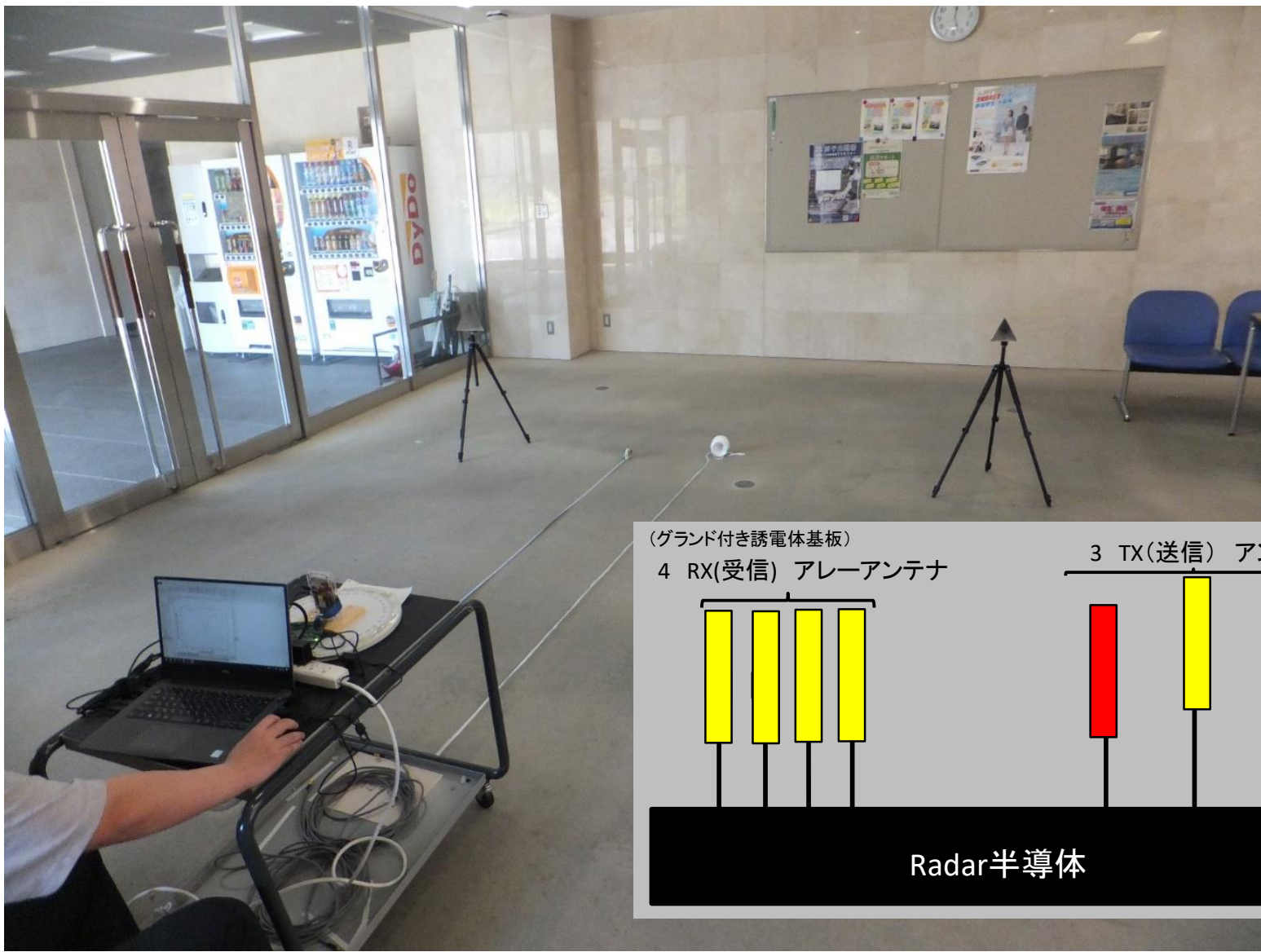


- Master-Slave構成
  - 高周波信号出力と分配
  - 同期化クロック出力と分配
- など、拡張のための仕組みが用意されている

[https://www.ti.com/lit/ug/tidueq8/tidueq8.pdf?ts=1606002562014&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ug/tidueq8/tidueq8.pdf?ts=1606002562014&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

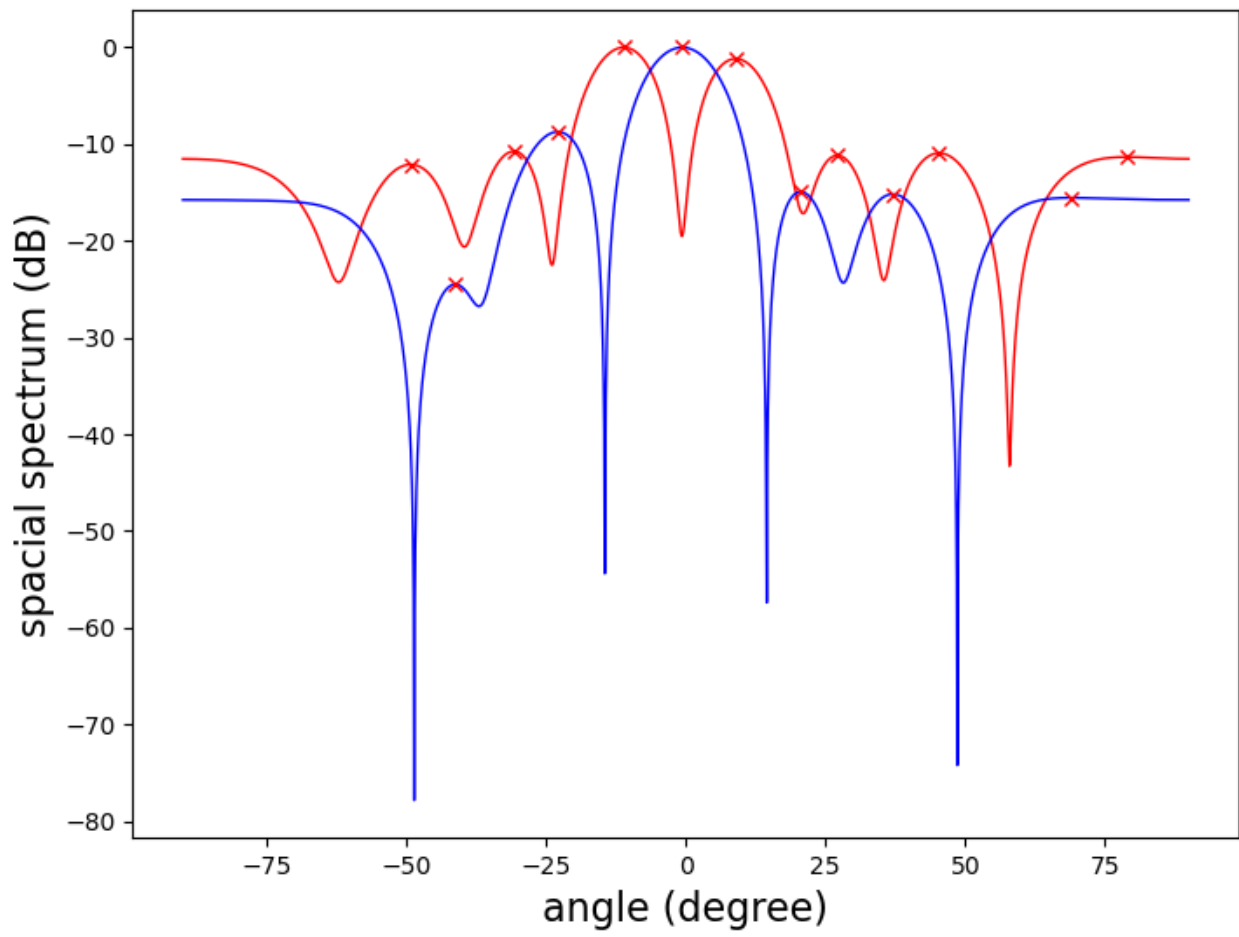
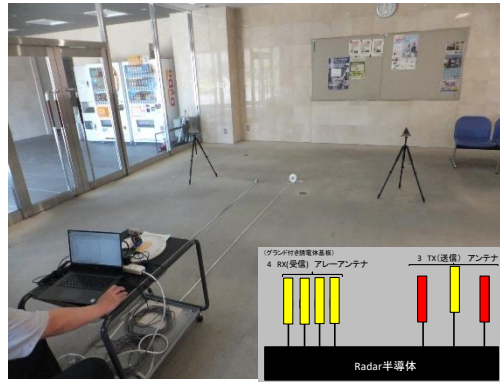
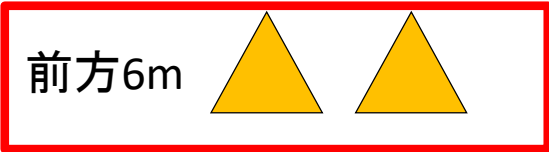
# 受信アレーアンテナの仮想的拡張法(MIMOレーダ処理)

## 実験用レーダ、及び実験風景



# 受信アレーアンテナの仮想的拡張法 (MIMOレーダ処理)

ターゲット角度: -9.46 , +9.46



MIMOレーダ処理なし

-0.72



MIMOレーダ処理あり

-11.10 8.93



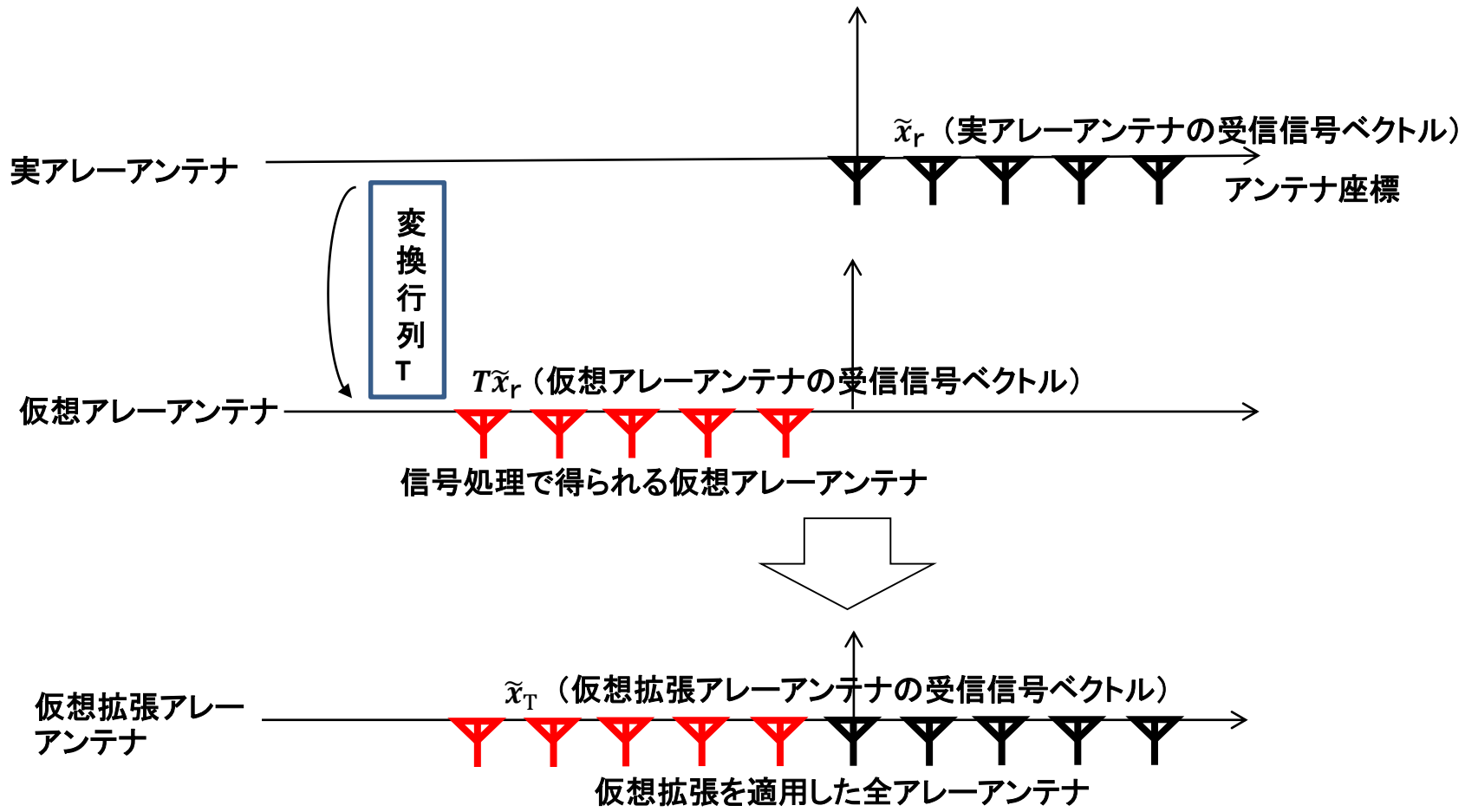
# 仮想拡張アレーアンテナ信号処理

1. ミリ波レーダと角度推定

2. MIMOレーダ(多入力多出力レーダ)

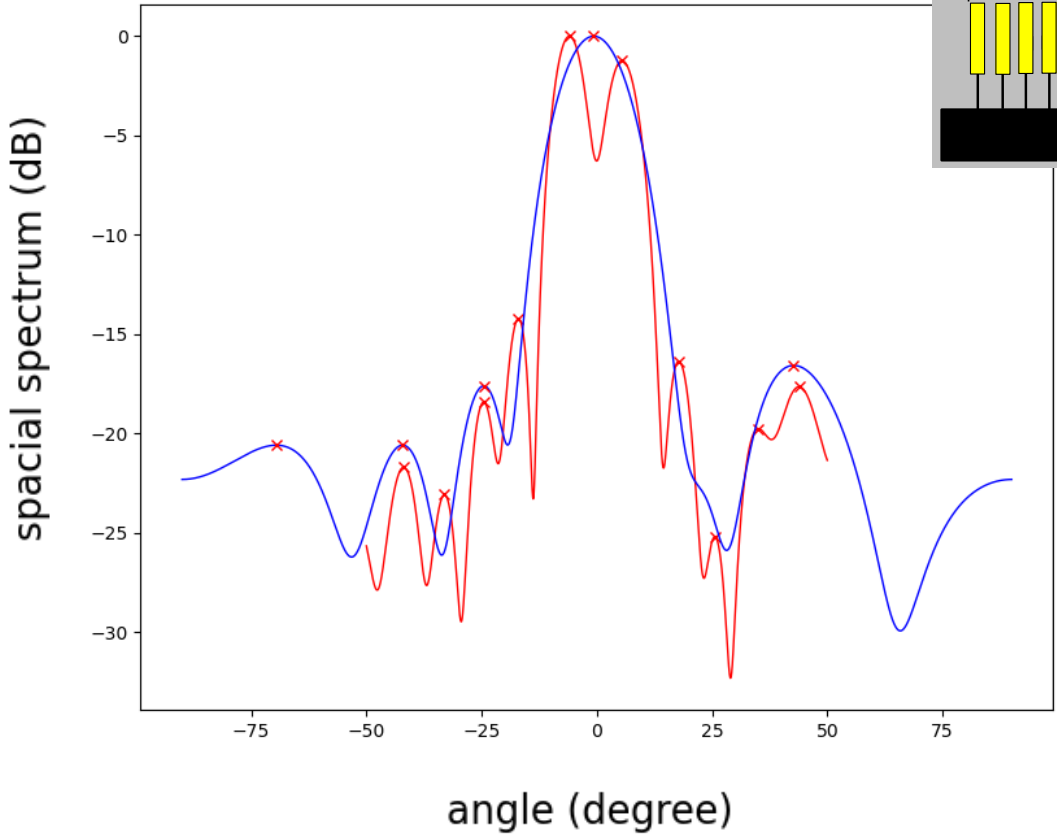
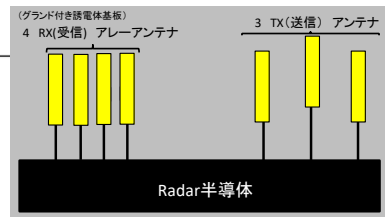
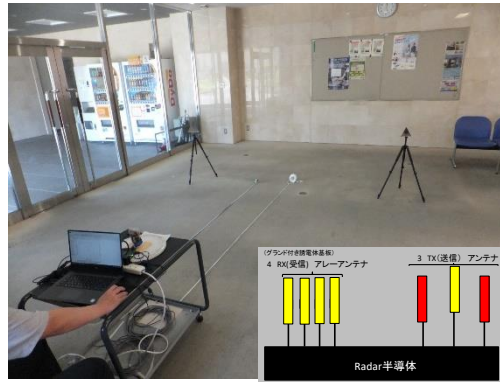
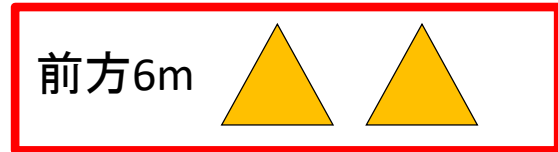
3. 線形予測による仮想拡張アレーアンテナ

# 受信アレーアンテナの仮想的拡張法(線形予測法の適用)



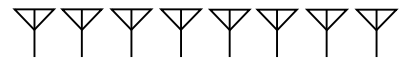
# 受信アレーアンテナの仮想的拡張法(線形予測法の適用)

ターゲット角度: -5.71, +5.71



仮想拡張処理なし

-0.67



仮想拡張処理あり

-5.96 5.48



# まとめ

・ミリ波レーダは、距離、相対速度、角度の測定により、電波の伝搬パスを高精度に分離できる特徴を生かし、以下のような応用も想定できる。

人やモノの位置推定

人やモノの動き

ジェスチャー認識

物体検知

物体追跡

自己位置地図獲得

フォークリフト、貨車、無人搬送車 (AGV)、建設車両、ロボット

スマート・インフラ

屋内／屋外の占有状態検知システム

省エネ、セキュリティ、

煙が充満している環境や暗闇

遮蔽物の先まであらゆる環境を「透視」

・実環境では、電波のマルチパス伝搬の問題があり、既存の無線システムでは、人やモノの位置や動きを正確に認識できない。

・60GHz帯も利用できるようになり、さらに高い距離や角度分離性能が得られる