

アナログ技術セミナー2021

測距センサー（ライダーとレーダー） その特長と測定原理

アナログ・デバイセズ株式会社

高松 創



トピック

- ▶ ライダーとレーダーの特長
- ▶ ライダーの測定原理
- ▶ レーダーの測定原理
- ▶ 測距センサーの高度化（デモンストレーションあり）

測距センサー（ライダーとレーダー）の特長

測距センサーとは？

▶ 測距センサーとは？

- 測定対象から反射された受信信号を処理することにより、以下（いずれか）の測定が出来るセンサー
 - 伝搬時間から**距離**を計測（必須）
 - 反射波の強さから**大きさ**を計測
 - 反射波の位相の動きから**速度**を計測
 - 反射波の到来角度推定からターゲット**方位**を計測

▶ 媒体により異なる測距センサーが存在

- 光（光波）を利用：ライダー（レーザー距離計/TOFセンサーは原理が同じ）
- 電波を利用：レーダー
- 音波を利用：ソナー

▶ 注意：このセッションではライダーとレーダーを取り上げる

測距方式別の特性比較



- ▶ **注意：図は一般的な比較で、欠点も技術的な補正が可能（下記例）**
 - ステレオカメラ
 - FMCWライダー
 - Massive MIMOレーダー
 - ディープラーニングによるターゲット分類
- ▶ センサーフュージョンは各センサーを補完できる（ADASセンサー）

ライダーとレーダー方式比較

方式	ライダー	レーダー
測定原理（距離）	<ul style="list-style-type: none">飛行時間から距離を算出	<ul style="list-style-type: none">飛行時間から距離を算出干渉/コヒーレンスから距離と速度を算出
測定原理（角度）	<ul style="list-style-type: none">機械走査（要・回転機構）電子走査（要・MEMSミラー等）	<ul style="list-style-type: none">機械走査（要・回転機構）電子走査（要・複数送受信チャンネル）
分解能（距離）	<ul style="list-style-type: none">時間分解能に依存	<ul style="list-style-type: none">周波数分解能と占有帯域幅に依存
分解能（角度）	<ul style="list-style-type: none">機械走査性能に依存	<ul style="list-style-type: none">機械走査性能に依存送受信チャンネル数に依存（電子走査時）
ターゲット影響	<ul style="list-style-type: none">投影面積とターゲット色に依存	<ul style="list-style-type: none">投影面積とターゲット素材に依存
その他	<ul style="list-style-type: none">光学レンズがばく露（外観影響）	<ul style="list-style-type: none">電波透過素材下に埋込可（外観影響無）疎な解像度（スパース）

測距センサーの方式比較（性能向上視点）

▶ 測定原理（距離＋速度）

- レーダー：距離と速度を検知出来るコヒーレント（FMCW）方式が普及済
- ライダー：干渉（コヒーレンス）を使用するFMCWライダーが提案

▶ 測定原理（角度）

- ライダー／レーザー：機械走査は大きなコスト要因になり、更新レートを上げるのが困難
- レーザー：電子走査はパッチアンテナ（基板パターンによるアンテナ）で安価かつ高品質に実現
- レーザー：複数の送受信チャネルによるMassive MIMO化で角度分解能が向上
- ライダー：電子走査はMEMSミラーや液晶導波管などで実現（FoV/視野角は広くない）

▶ 距離分解能

- ライダー：信号サンプルレート（時間分解能）を上げることで分解能向上
- レーザー：占有帯域幅を広げ、かつ信号サンプルレート（周波数分解能）を上げることで分解能向上

▶ 環境影響

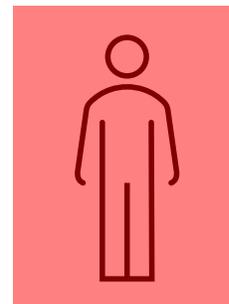
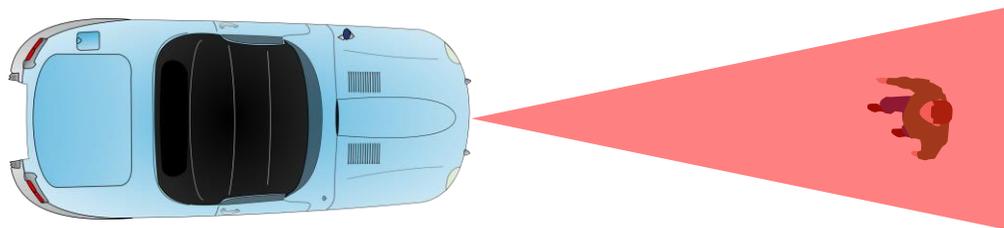
- ライダー：太陽光ノイズは平均化処理などでSNRを改善（要ADCベースシステム）
- レーザー：地面からのクラッター（ノイズ）をCFAR/Constant False Alarm Rateで除去

ライダーの測定原理

- ▶ ライダー/LiDARとは、Light Detection and Rangingの略
- ▶ 媒体に赤外線（IR）を利用
 - 波長は主に905nm～940nmを使用
 - 送信器：半導体レーザーダイオード（波長と位相が揃っている）
 - 受信器：シリコンAPD（アバランシェ・フォトダイオード）
 - マルチチャンネルAPDアレイで、ピクセル数/サンプルを向上
- ▶ パルスの飛行時間（ToF）から距離を算出
 - 光速は約30万km/秒（0.3m/ナノ秒）⇒1GbpsのADCがサンプル/ナノ秒
 - 受信信号の時間分解能が距離分解能を決定
- ▶ レーザーの安全基準認証が必要
- ▶ 他の光学方式との比較
 - ステレオカメラは、低コスト、精度向上が困難、暗い環境下で著しく性能低下
 - ストラクチャードライト（カメラ）：高精度、外乱光に弱い、近距離に最適（遠距離は困難）
 - ToF：低コスト、近距離向けで、コンシューマー機器で利用が多い（原理はライダーと同じ）

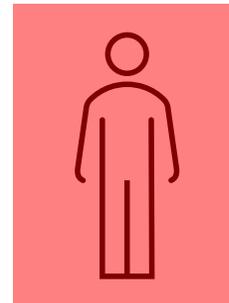
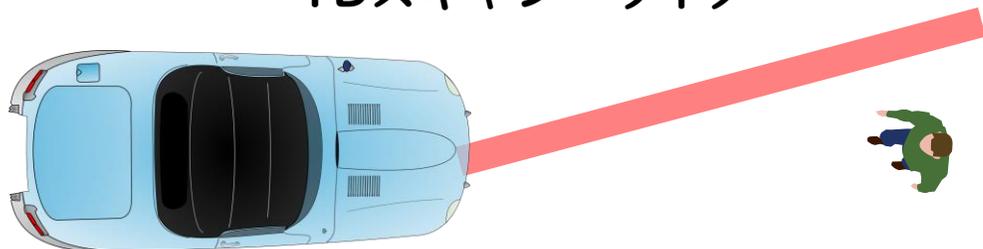
ライダーの方式比較

フラッシュ・ライダー



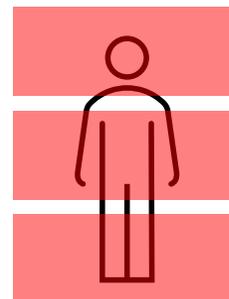
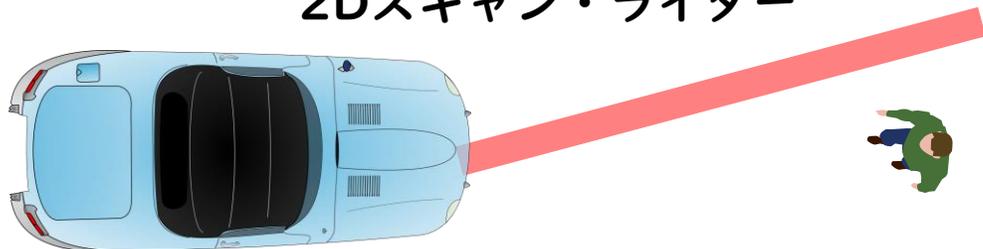
- ▶ 低コスト
- ▶ コンシューマ用途で普及 (ToFセンサー)
- ▶ 高フレームレート
- ▶ 短距離 (数メートル)

IDスキャン・ライダー



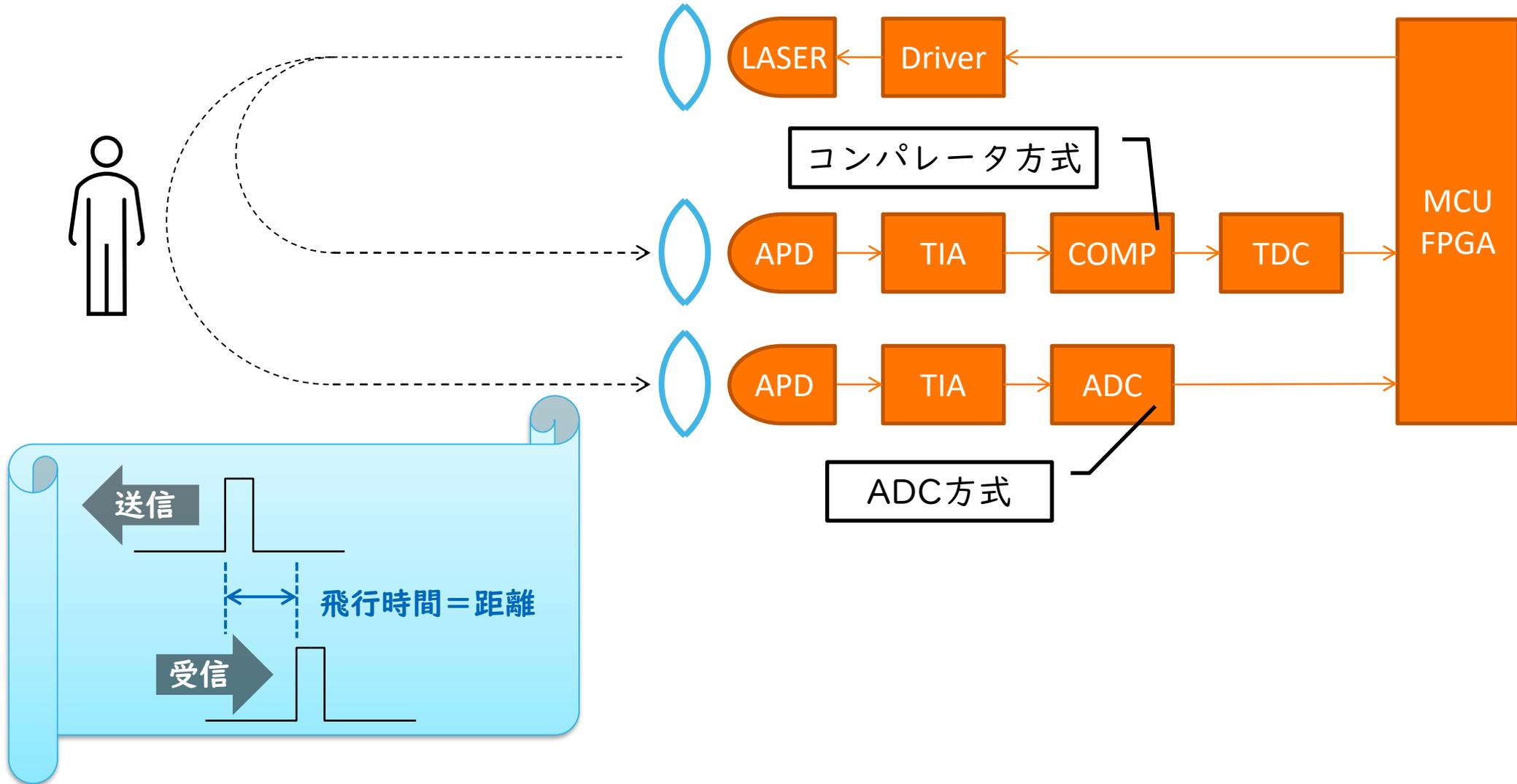
- ▶ 高コスト (低コスト化加速)
- ▶ 最も普及しているライダー
- ▶ 機械走査または電子走査 (一部)
- ▶ 長距離 (数100メートル)

2Dスキャン・ライダー

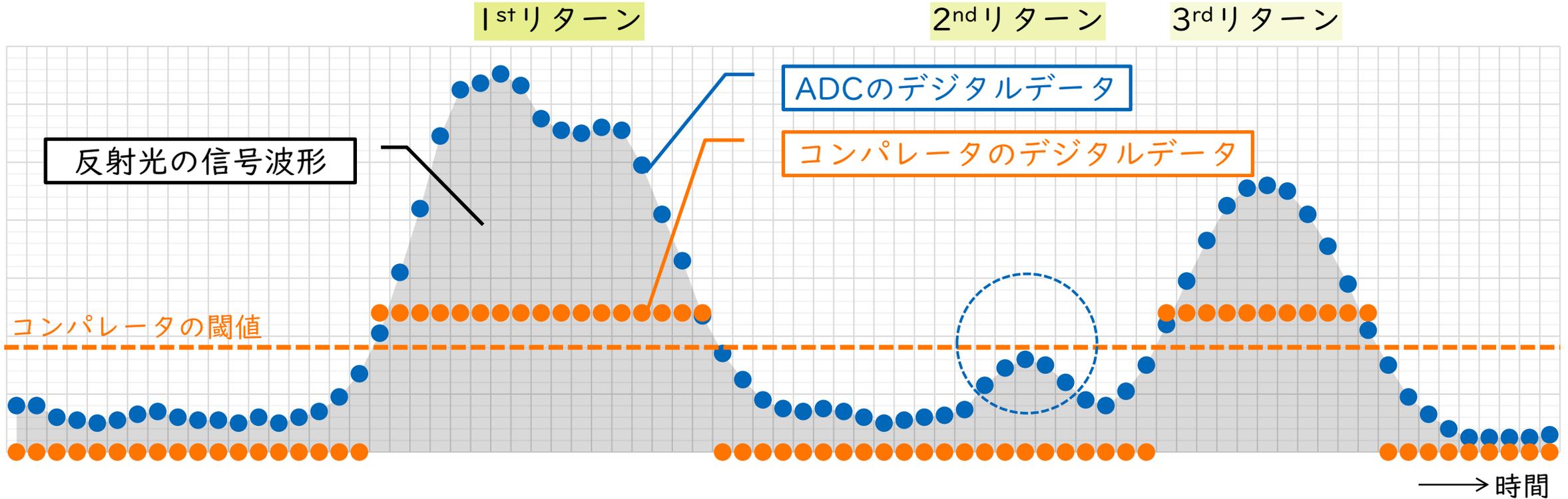


- ▶ 最高コスト (Z軸レイヤー数依存)
- ▶ 3D点群データ取得に最適
- ▶ 機械走査
- ▶ 長距離 (数100メートル)

ライダーのシグナルチェーン



ADCベースのLiDARシステムのメリット



コンパレータ+TDC方式	ADC方式
<ul style="list-style-type: none"> • シンプルな回路構成 • 高SNR化と距離レンジでトレードオフ • マルチリターン信号処理で閾値制御複雑化 	<ul style="list-style-type: none"> • 複雑な回路構成（コスト増） • デジタルフィルターや平均化で高SNR化容易 • マルチリターン信号処理容易

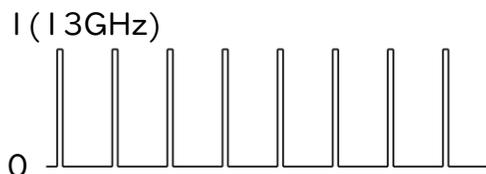
レーダーの測定原理

レーダーの概要

- ▶ レーダー/RADARとは、Radio Detection and Rangingの略
- ▶ 媒体に電波を利用
 - 周波数は主に24GHz、60GHz、77/81GHz帯を使用
 - 送受信はシリコンMMIC（CMOSワンチップ化が主流）
 - 電子部品と基板で構成可能（低価格、高品質）
- ▶ パルスの飛行時間（ToF）または干渉（コヒーレンス）を利用して距離を算出
 - 現在主流のFMCW方式はコヒーレント方式
 - 電波速度も光速同様の約30万km/秒（0.3m/ナノ秒）
 - 占有帯域幅と干渉波（IF）の周波数分解能が、距離分解能を決定
 - レーダー固有の信号処理が必要
- ▶ 電波法の認証が必要（技術適合）
 - 電波法により占有帯域幅が規定されて、結果的に距離分解能が制限される
- ▶ 方式（例：パルス、CW、FMCW）によって特長が異なる

レーダーの方式比較

パルス方式（飛行時間方式）



Pulse
Radar

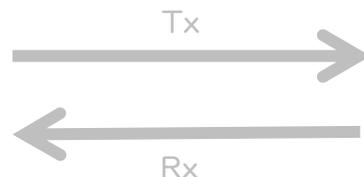


- 距離のみ測定
- パルス幅・小⇒距離分解能・良
- パルス幅・小⇒遠距離・難
- 回路規模：中～大
- 至近距離測定に難

CW方式（Continuous Wave方式）

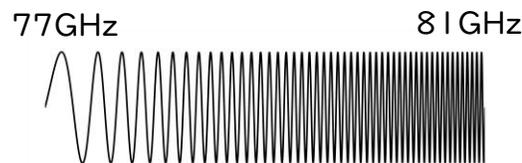


CW
Radar



- 速度のみ測定
- 狭帯域
- 回路規模：小
- ドップラーレーダーで普及

FMCW方式（Frequency Modulated CW方式）

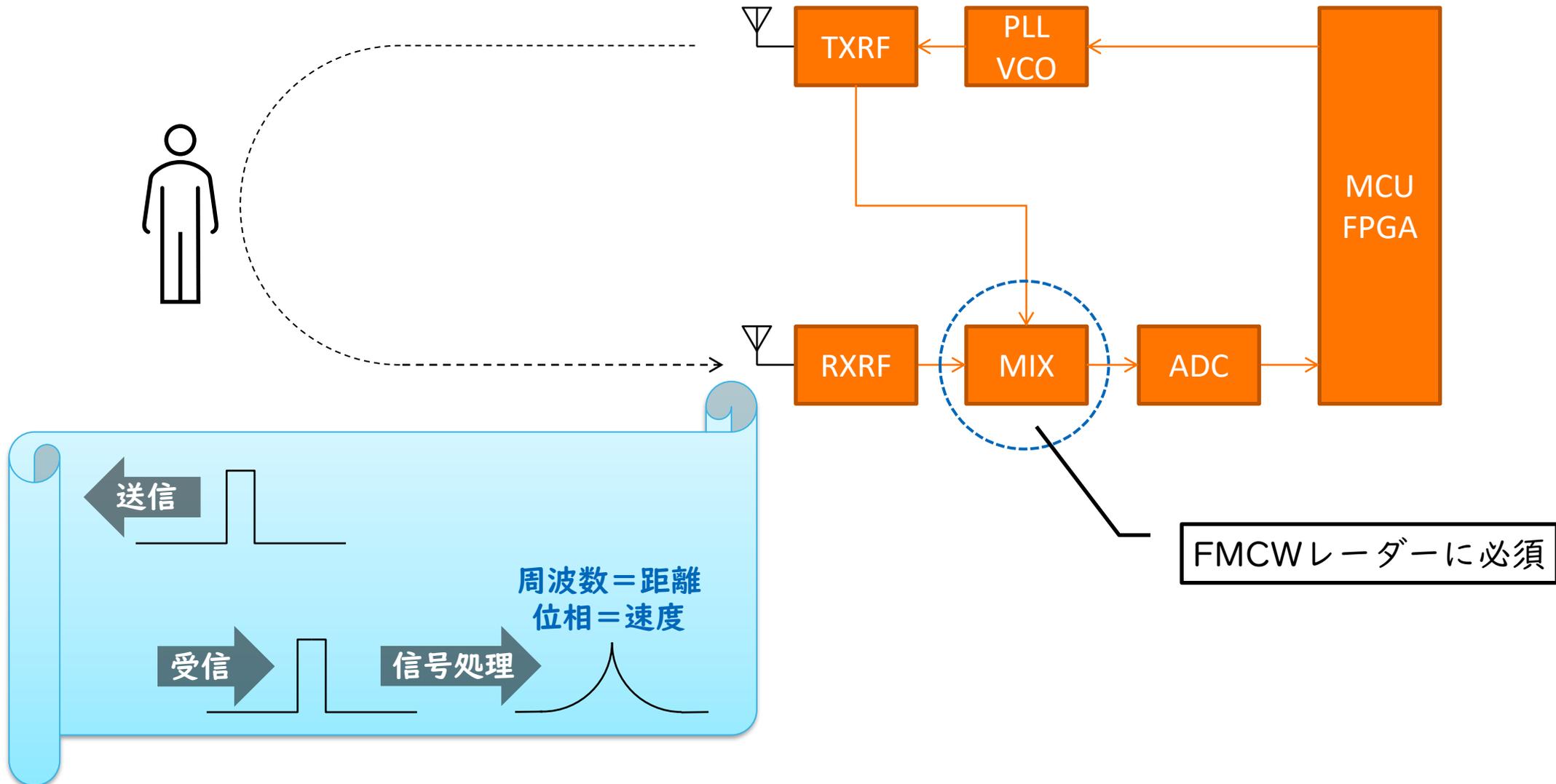


FMCW
Radar

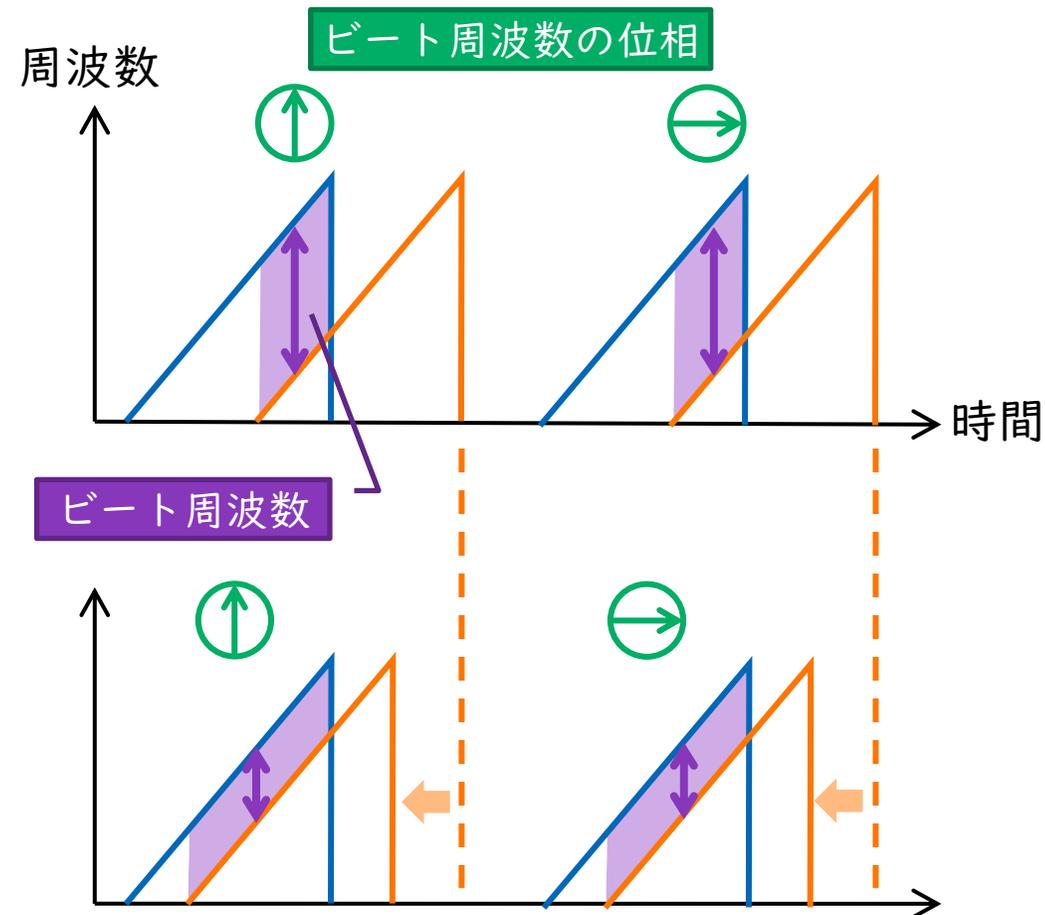
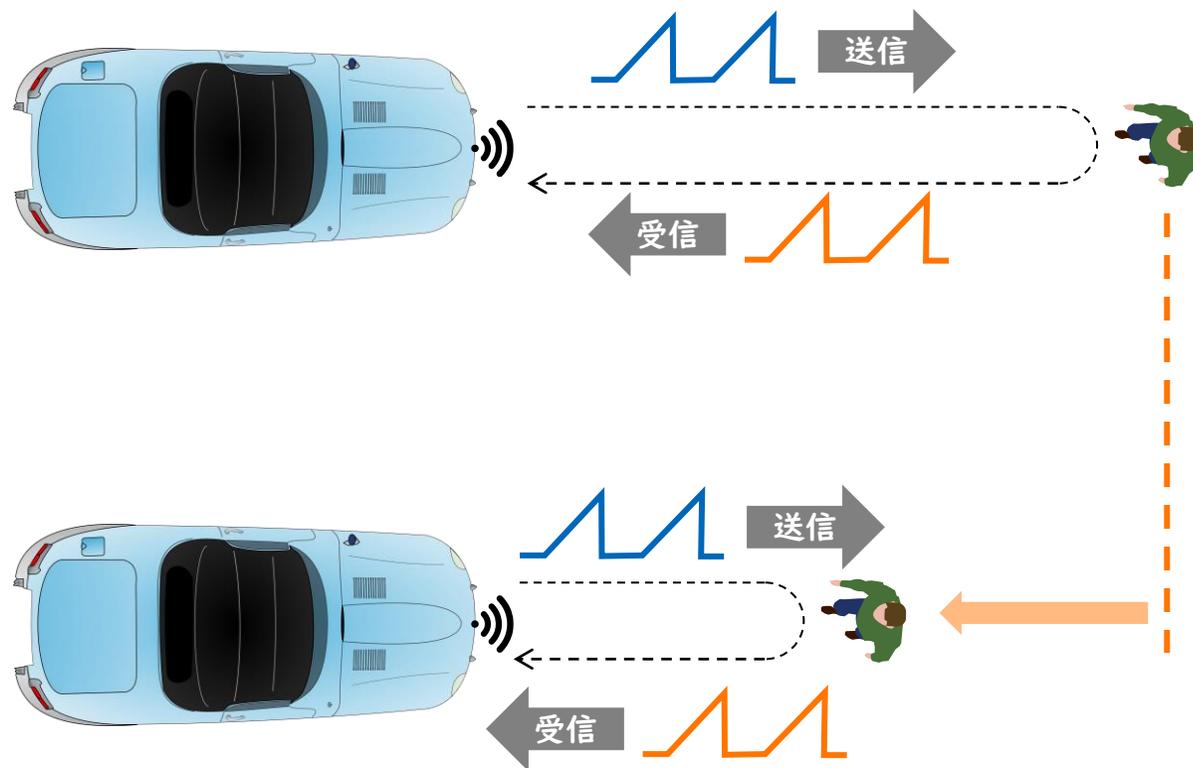


- 距離と速度を同時測定
- 帯域幅・大⇒距離分解能・良
- 回路規模：中
- 極至近距離測定に難
- ADAS用レーダーで普及

レーダーのシグナルチェーン



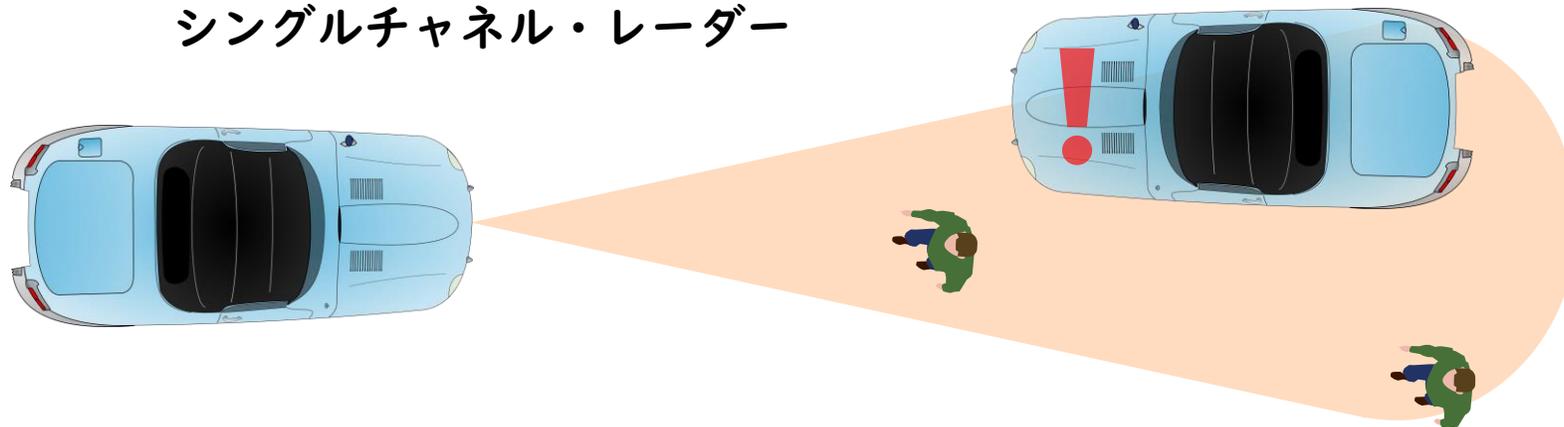
FMCWレーダーの距離・速度の測定原理



- ▶ **ビート周波数** (送受信の周波数差) が距離に応じて変化する (=距離情報)
- ▶ ニつにランプ信号で**ビート周波数の位相**が変化する (=速度情報)

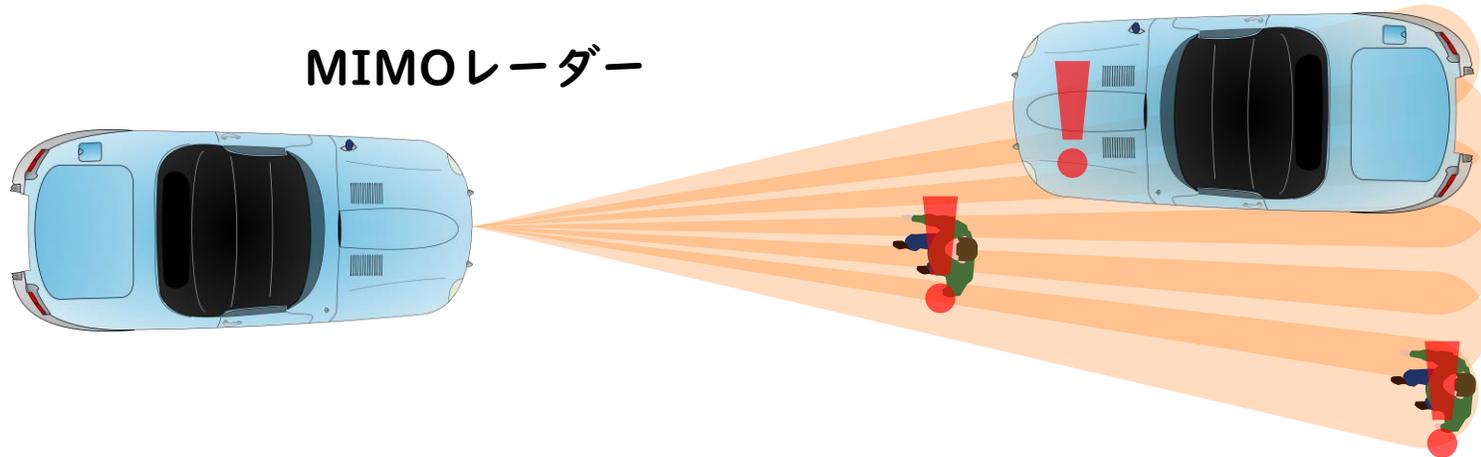
FMCWレーダーの角度測定原理

シングルチャネル・レーダー



▶ 送受信がシングルチャネルの場合角度方向の分類は不可能（⇒機械走査で分類可能）

MIMOレーダー



▶ 送受信をMIMO化することで角度方向の分離が可能になる（⇒電子走査処理が必要）

▶ MIMOチャネル数を増やすほど角度分解能は向上する（コストとトレードオフ）

測距センサーの高度化（デモンストレーションあり）

デモンストレーション（マクニカ社協力）

- ▶ ライダーとレーダーの高度化を目指したデモンストレーション（最高性能を求めたもの）
- ▶ ライダーの高度化
 - 1Gspsの高速ADCベースのLiDARアナログフロントエンド
 - カメラとライダーのフュージョン
 - 深層学習による画像認識/物体認識と測距を統合
- ▶ レーダーの高度化
 - Massive MIMO化されたミリ波イメージングレーダー（12送信+16受信）
 - 広帯域ミリ波レーダーの高距離分解能とMassive MIMOによる角度の高分解能化
 - NVIDIA Jetson AGX Xavier™とインテグレーションされたシステム

