

# 第1章

# RADAR

この章ではRADARの基本原理，研究に使用するRADARの性能を示し，LiDARとの比較を行う．

## 1.1 ミリ波RADAR

### 1.1.1 RADAR

RADARは電波を発射し遠方にある目標物を検知し，そこまでの距離を測る電波検知装置である[7]．

RADARシステムは以下のような簡易なブロック図（図1.1）で表される．

- 送信アンテナ部

電波を効率よく物標に放射し，反射波を捉える装置

- 信号処理部

受信したデータ列を検出や測距など目的を達するために行うソフトウェア処理

- 検波部

受信波を信号処理しやすい信号形式に変換する装置

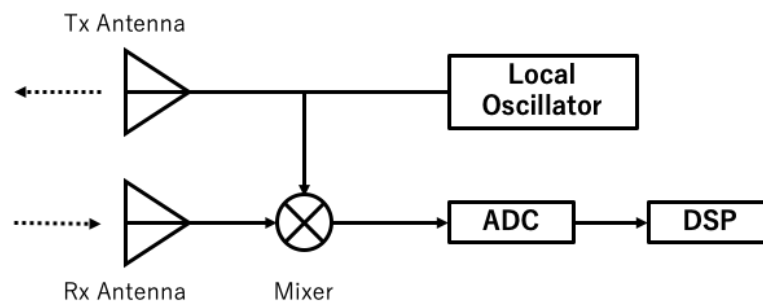


図1.1 RADARのブロック図

例えば，RADARではパルス波（矩形波）を図1.2のように物標方向に照射し，その反射信号から距離に対する反射強度を得ることができる．物標の位置はこの反射波の強度のピークが発生している箇所に存在すると考えることができる．なお，この反射強度は物体の比誘電率に依存する．障害物のない箇所でも空気による若干の反射は発生するが，空気の比誘電率は物標より小さくなるため反射は少なくなり，物標の検知が可能となる．

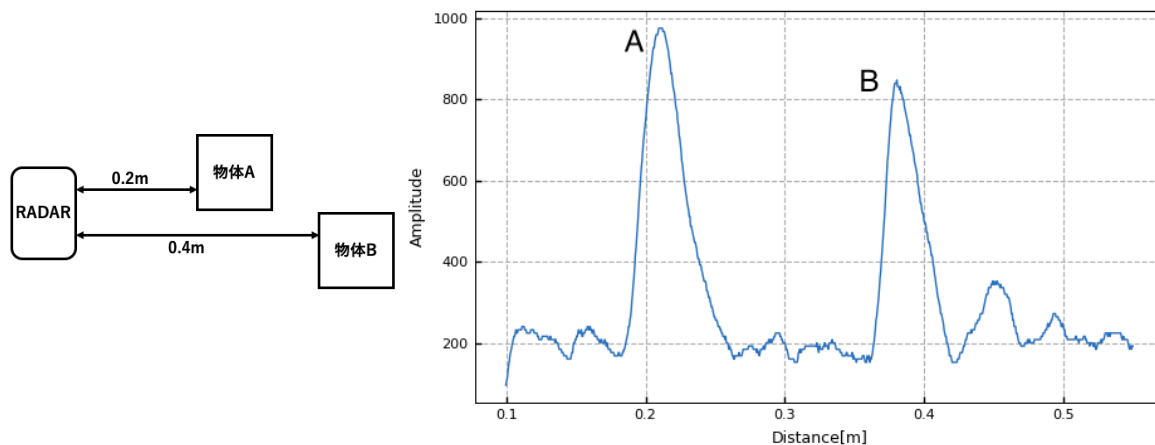


図1.2 物体の位置と反射強度の関係

### 1.1.2 ミリ波

ミリ波の波長は図1.3に示すように1mm～10mmと非常に短い．

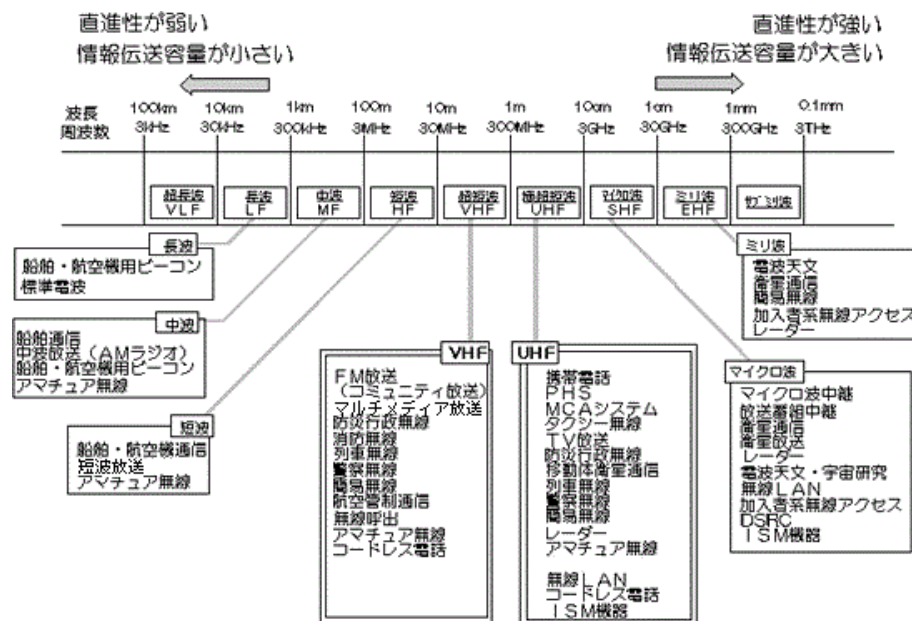


図1.3 電波の分類[8]

波長が1cm以下のマイクロ波と比較した際の特徴を以下に述べる[9].

### 1. 広帯域性

RADARの分解能は帯域幅の逆数となる。ミリ波は広い帯域幅を利用できるため高分解能・高精度化が可能となる。

### 2. 装置の小型軽量化

アンテナ開口径は波長に比例するため、周波数が高いほど装置サイズを小さくできる。

### 3. 鋭い指向性

空間的に高密度の利用が可能となる。また、お互いの電波の干渉も低くできる。

## 1.2 本研究で使用するRADAR

## 1.3 RADARの有用性の検証

RADARは環境の変化に対してロバストであると述べた．ここではRADARとLiDARの環境依存性について検証を行う．

### 1.3.1 検証手法

#### センサ

比較対象としてRADARと同じ価格帯のLiDARを用意した．使用したLiDARの性能と外観を表1.1，図1.4に示す．[10]

表1.1 LiDARの性能

製品名	YDLIDAR X4
検出距離	120～11,000mm
走査視野	360°
角分解能	0.5°
走査周波数	6～12Hz
電源電圧	DC5V
消費電流	450mA



図1.4 測定に使用したLiDAR

なお、LiDARは仕様上、全方向（ヨー角360度）をスキャンするが、今回の実験では壁側の1本のレーザーだけ使用する。

#### 実験環境

壁との距離をセンサで24時間計測する。この際の実験環境を表1.2、実験の様子を図1.5に示す。

表1.2 実験環境

測定日時	2020/01/12 08:47～2020/01/12 08:47
測定場所	一関高専4号棟402号室
測定環境	無人，消灯，外からの外乱光あり
対象物までの距離	0.6m
測定間隔	10秒



図1.5 RADARとLiDARの比較実験の様子

### 1.3.2 測定結果

RADAR, LiDARから得られた観測データを図1.6に示す. また, センサの平均値, 分散値を表1.3にまとめる.

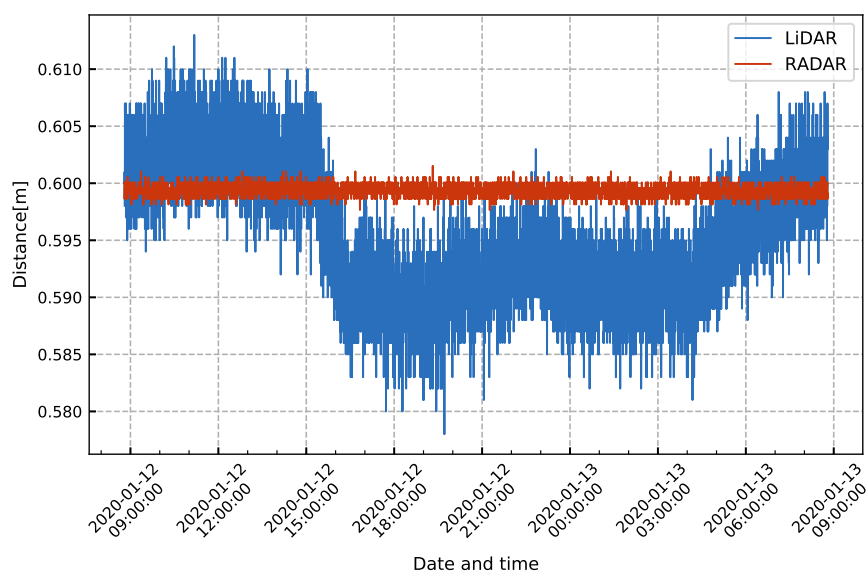


図1.6 LiDARとRADARの測定値の推移

表1.3 実験結果

	LiDAR	RADAR
平均	0.59538803	0.59935253
中央値	0.59500000	0.59958800
分散	0.00003424	0.00000024
標準偏差	0.00585180	0.00049350

図1.6のデータに対して移動平均フィルタを施した．フィルタ処理後のデータを図1.7に示す．

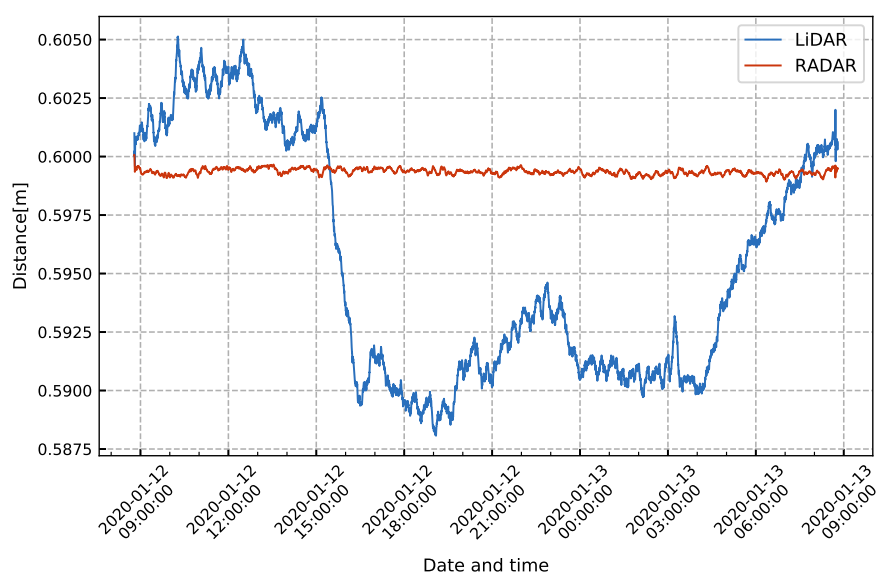


図1.7 LiDARとRADARの測定値の推移（移動平均フィルタ処理後）

### 1.3.3 結論

表1.3からLiDARと比較してRADARの方が値のばらつきが小さいことがわかった．しかし，LiDARとRADARでは測定原理が異なるため，単純にこのデータだけでRADARの方が優れているとは言い切れない．そこで，図1.7を見ると，LiDARは時間経過に対応して得られるデータが変動している．測定を行なった2020年1月12日の一関市

の日没は16:33, 1月13日の日の出は6:54であった. LiDARの測定値が大きく変動している時間と日没, 日の出の時間はおおよそ一致していることから, この値の変動は外からの太陽光の影響を受けた可能性がある. また, 測定を行なった部屋では温度, 湿度の管理を行なっていなかったため, 光以外の環境的要因によって測定値にばらつきが出た可能性も考えられる.

一方でRADARは24時間を通してほぼ一定の値を取り続けていた. このことから, RADARはLiDARと比較して外乱の影響を受けにくいと考えられる. 以上より, RADARは他の車載センサと比較して環境変化に対しての優位性があると結論づける.



## 第2章

# 開発手法

この章ではモデルベース開発という開発手法について概説し，提案システムの開発プロセスについて説明する．

### 2.1 モデルベース開発

モデルベース開発（Model Based Design / Development MBD）とは，シミュレーション可能なモデルを用いるソフトウェア開発手法のことを指す．制御系MBDでは，制御器および制御対象，またはその一部をモデルで表現し，机上シミュレーション/リアルタイムシミュレーションにより制御アルゴリズムの開発・検証を行う．このモデル化とシミュレーションは，ハードウェアが利用できない場合（システム開発初期）には特に有益である．さらに，コード生成ツールを用いて，制御器モデルから実際の制御器（マイコン等）に組み込む制御用Cプログラムを作成することも可能となる．コード生成により，時間を節約し手作業でのコーディングによるエラーを防ぐことができる[11]．

### 2.2 MATLAB/Simulink

本研究では，信号処理アルゴリズムの開発にMATLAB/Simulinkを使用した．MATLABはThe MathWorks社が開発している数値解析ソフトウェアであり，その中で

使うプログラミング言語の名称でもある[12]. また, SimulinkはMATLABと統合化されたモデルベース開発のためのソフトウェアである. モデルにMATLABアルゴリズムを組み込み, シミュレーションの結果をMATLABにエクスポートして詳細な解析を行うことができる[13].

## 2.3 提案システムの開発手法

提案システムの開発は, 具体的には以下の開発プロセスに沿って行った.

### 1. 制御対象のデータ収集

RADAR信号処理アルゴリズムを構築する上で, シミュレータに入力するためのテストデータを実機から収集した.

### 2. 信号処理アルゴリズム設計

RADAR信号から所望のデータ(路面の段差の有無)を算出する信号処理器をSimulink上に構築し, シミュレーションを行った.

### 3. 実装モデル設計

信号処理アルゴリズム設計で開発されたアルゴリズムをベースに実装用モデルを設計した.

### 4. 組み込み用コード生成

実装モデルから Real-Time Workshop Embedded Coder というCコード生成ツールを用いて, RaspberryPi上で動作する実装用ソフトウェアを自動生成した.

## 参考文献

- [1] 武馬修一・趙在成・神田亮・梶野英紀・土田久輔・十津憲司・大谷佳史. 電動アクティブサスペンションアクチュエータの開発. 自動車技術会論文集. 2008, 39, 5, p. 13.
- [2] 自動運転LAB. 【最新版】自動運転の最重要コアセンサーまとめ LiDAR、ミリ波レーダ、カメラ. [https://jidounten-lab.com/y\\_2520](https://jidounten-lab.com/y_2520), (参照:2020-01-24)
- [3] 松ヶ谷和沖. 自動運転を支えるセンシング技術. Denso technical review. 2016, 21, p. 13-21.
- [4] MIT Technology Review. Self-Driving Cars' Spinning-Laser Problem. <https://www.technologyreview.com/s/603885/autonomous-cars-lidar-sensors/?set=603886>, (参照:2020-01-24)
- [5] ZMP.Autonomous Driving (自動運転) の制御に使われるセンサについて. [https://www.zmp.co.jp/knowledge/ad\\_top/dev/sensor](https://www.zmp.co.jp/knowledge/ad_top/dev/sensor), (参照:2020-01-24)
- [6] CleanTechnica. Tesla & Google Disagree About LIDAR — Which Is Right?. <https://cleantechnica.com/2016/07/29/tesla-google-disagree-lidar-right/>, (参照:2020-01-24)
- [7] 梶原昭博 (2019) . ミリ波レーダー技術と設計. 科学情報出版.
- [8] 総務省. 周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴. <https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/>, (参照:2020-02-06)
- [9] 藤村契二. 車載用ミリ波レーダの実用化技術. 電気学会論文誌. 1998, 118, p. 292.
- [10] YDLIDAR. YDLIDAR X4 Datasheet. <http://www.ydlidar.com/Public/upload/files/2019-12-18/YDLIDAR%20X4%20Datasheet.pdf>, (参照:2020-01-18)
- [11] The MathWorks,Inc. Model-Based Design with Simulink. <https://jp.mathworks.com/help/simulink/gs/model-based-design.html>, (参照:2020-02-10)
- [12] The MathWorks,Inc. Getting Started with MATLAB. <https://jp.mathworks.com/help/matlab/getting-started-with-matlab.html>, (参照:2020-02-10)
- [13] The MathWorks,Inc. Getting Started with Simulink. <https://jp.mathworks.com/help/simulink/getting-started-with-simulink.html>, (参照:2020-02-10)