

# 設置に制約が少ない Angled ミリ波レーダー水位計開発に向けた基礎検討

八千代エンジニアリング 正会員 ○高橋 悠太, 安野 貴人  
ジオテクサービス 佐藤 朗

## 1. 背景と目的

水害が激甚化する今日、高機能なダムが求められる。ダムの流入量は出水中、雨量や観測所の情報を都度確認し、人的・定性的に予測、意思決定を行っている。この流入量を予測する手法の一つとして、IoT 到来を想定したセンシング技術と機械学習の組み合わせによる研究がなされている<sup>1)</sup>。センシングに要するデバイスとして、安価なミリ波レーダー水位計が開発されてきたが、鉛直方向からの計測と比べ、角度がついた場合の計測精度が必ずしも高くはなかった。鉛直方向計測には、レーダー設置に橋梁等設置のための構造物が必要になるなど、導入コストは高くなると考えられる。本研究では、角度がついた場所から計測が可能なよう改良し、高速フーリエ変換(FFT)等の周波数分析手法を用いて性能検証を行った。

## 2. ミリ波レーダー水位計の概要と分析手法

ミリ波レーダーは、振幅 1~10[mm]、周波数 30~300[GHz]の電波<sup>2)</sup> (Extremely High Frequency : EHF) を、変調波 (Chirp) として対象物に照射する。得られた受信波と送信波の合成波を周波数分析することで、対象物の距離や存在する方位角が計測できる。これらの技術は、自動運転技術における、車両周囲にある物体の距離測定等に利用<sup>3)</sup> されている。

次に、距離及び方位角の算定方法を示す。今回、変調波は周波数連続変調 (FMCW) 方式にて送信する。変調は周波数を線形的に増すよう行う。開始時の周波数 $f_0$ 、送信周波数 $f_T$ は時間 $t$ により、以下に表せる。

$$f_T = St + f_0 \quad (1)$$

この時、 $S$ [Hz/s]は Chirp 傾きと呼ばれる定数で、機器により異なる。受信波を得られた時刻を、送信開始から $\tau$ 経過したときと考えると、受信周波数 $f_R$ は以下のように表せる。

$$f_R = S(t - \tau) + f_0 \quad (2)$$

これらの周波数差分から中間周波数 (Intermediate Frequency : IF) 信号を合成する。この時、IF 信号の周波数 $f_{IF}$ は $S\tau$ になり、対象物距離 $d$ [m]は光速 $c$ [m/s]を用いて、以下のように表せる。

$$d = \frac{f_{IF}c}{2S} \quad (3)$$

対象物が複数ある場合、それぞれに対応する IF 信号の合成波を FFT により周波数分解する。対象物の距離が近い順に対応する周波数でピークが現れ、式(3)に代入することで、それぞれ距離を得られる。

## 3. 実験条件と使用デバイスの諸元

実験は、初期検討として屋内で行う。容器に水を入れ、鉛直および斜め方向からレーダーによって、水位を計測する (図 1)。今回、レーダーデバイスは Texas Instruments の IWR1642 を使用した。周波数帯は 76~81[GHz]で連続可能帯域幅 $B$ は 4[GHz]、 $S$ は 0.1[GHz/ $\mu$ s]である。本実験では、センサーの実装を簡便化するため、ある程度の処理回路を搭載した、評価ボードを利用する。次に、実環境で Angled ミリ波レーダーを使用する状況を整理する。状況は平野部にある大河川の堤防上から俯角 30 度程度を想定する場合、次に山間部溪岸から俯角 45 度程度を想定する場合、最後に都市部中小河川の護岸から俯角 60 度程度を想定する (図 2)。俯角が浅いほど、水面での散乱、ないし斜距離が長くなることで受信波強度が低下す

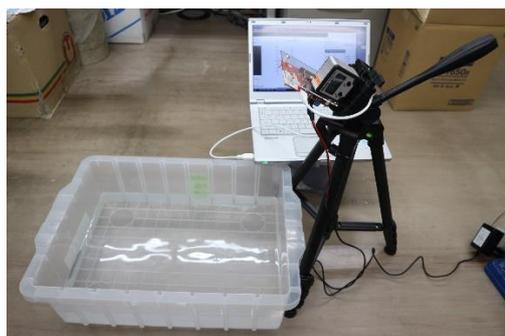


図 1 屋内実験 (俯角 60 度程度) の様子

キーワード ミリ波レーダー水位計, MEMS, FFT, ダム流入量予測

連絡先 〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー 八千代エンジニアリング(株) TEL: 03-5822-2903

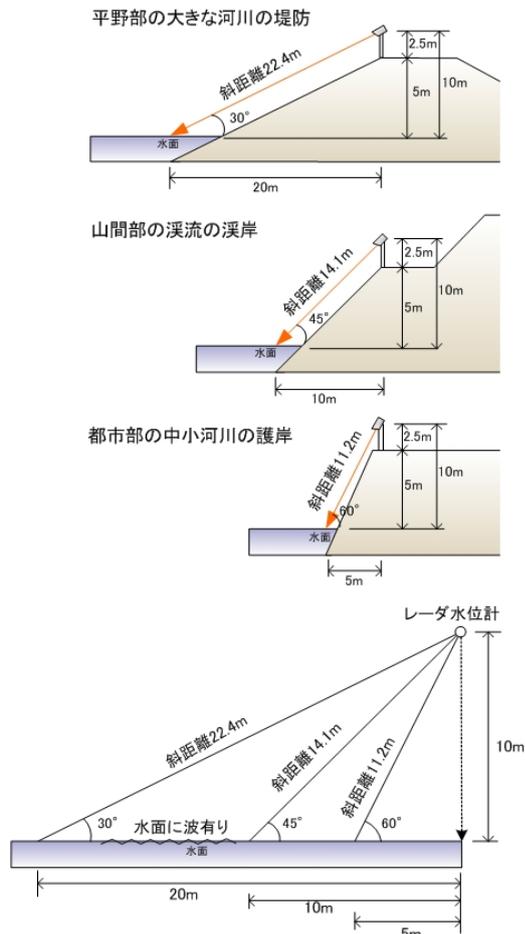


図2 Angled ミリ波レーダー使用が想定される状況

と考えられる。本検討では、鉛直方向から水面までの距離を 40 センチ程度で計測する条件と、斜め方向からでは最も条件の易しい都市部中小河川を想定した、俯角 60 度程度での実験を、斜距離 48cm 程度で行うことで検証する。

#### 4. 各方向からの受信波パワースペクトル

鉛直方向及び斜め方向（俯角 60 度程度）から得られた算出距離とパワースペクトルを図 3、図 4 に示す。鉛直方向の主なピークは 3 つあり、最大のピークが水面からの距離である 40cm 付近にある。それ以外の 2 ピークは、最大ピークからおおよそ等距離にあることから、容器の縁での反射波であると考えられる。次に、斜め方向のピークを確認する。水面までの斜距離は 48cm になる。主なピークは 5cm 付近と 50cm 付近にある。5cm 付近のピークは、パワースペクトル密度が鉛直方向での同付近のピークの値と同様であることから、レーダーに近い容器の縁からの反射波と考えられる。水面のある 50cm 付近では鉛直方向と比べ、5 分の 1 程度まで低下しており、角度がつくことによる受信波強度の低下がわかる。

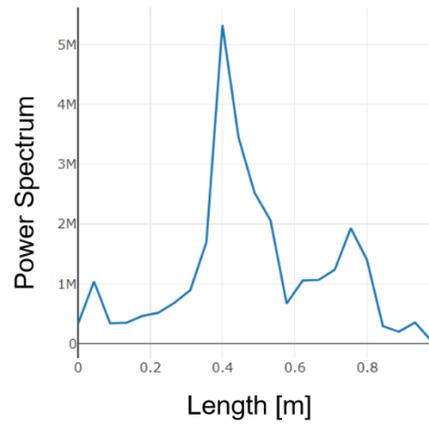


図3 鉛直方向のパワースペクトル

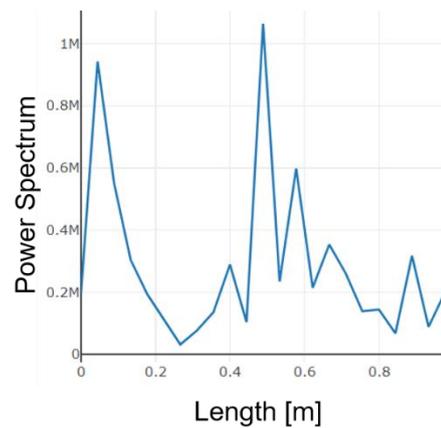


図4 俯角 60 度程度でのパワースペクトル

#### 5. まとめ

実験の結果、角度をつけることで、斜距離が 20% 程度の増加で、受信波強度が 75% 低下することが確認された。これは斜距離の延長に比べ、水面での散乱による影響がより大きいと考えられ、ハード面での照射波を絞る改良を、またソフト面においては、精度よく距離推定を行えるよう、FFT を高度化していくこととする。

#### 参考文献

- 1) 天方匡純, 安野貴人, 藤井純一郎, 嶋本ゆり, 大久保順一: IoT を想定したダム流入量予測精度向上に関わる研究, 水文・水資源学会誌, Vol.32, No.6, p.287-300, 2019.
- 2) 国土交通省: 平成 30 年度情報通信白書, 第 2 部, 第 5 章, 第 3 節, 電波利用の動向, p.275, 2018.
- 3) 永野 聖巳, 菅沼 直樹, 米陀 佳祐, アルディバージャムハマド, 岸田 正幸, 松元 利裕: 全方位ミリ波レーダーを用いた自動運転自動車のための周辺移動車両追跡に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 48, No.2, p.411-418, 2017.