

GNSS信号放射用クロス八木アンテナの試作

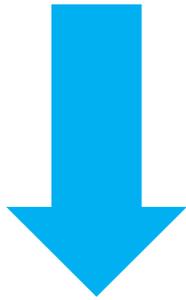
測位航法学会全国大会 2020/07/17

東京海洋大学 小林海斗

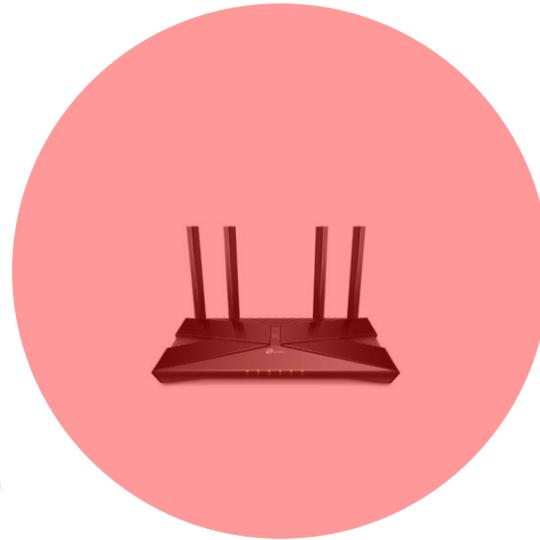
1. 目的
2. 必要スペック
3. アンテナデザイン
4. 屋内実験(送信)
5. 屋外実験(送信)
6. 受信実験
7. 受信実験結果
8. まとめ

1. 目的

- ◆スプーフィングやジャミングなどの実験を長距離で行うためにはGNSS帯域の電波を遠くまで発射できる高利得アンテナが必要。
- ◆アンテナに指向性をつけることでゲインが上昇する。
- ◆指向性アンテナを使用してGNSS信号を受信するによって他の研究にも利用できる。



実験等でGNSSの電波を送受信するための
指向性アンテナを製作する



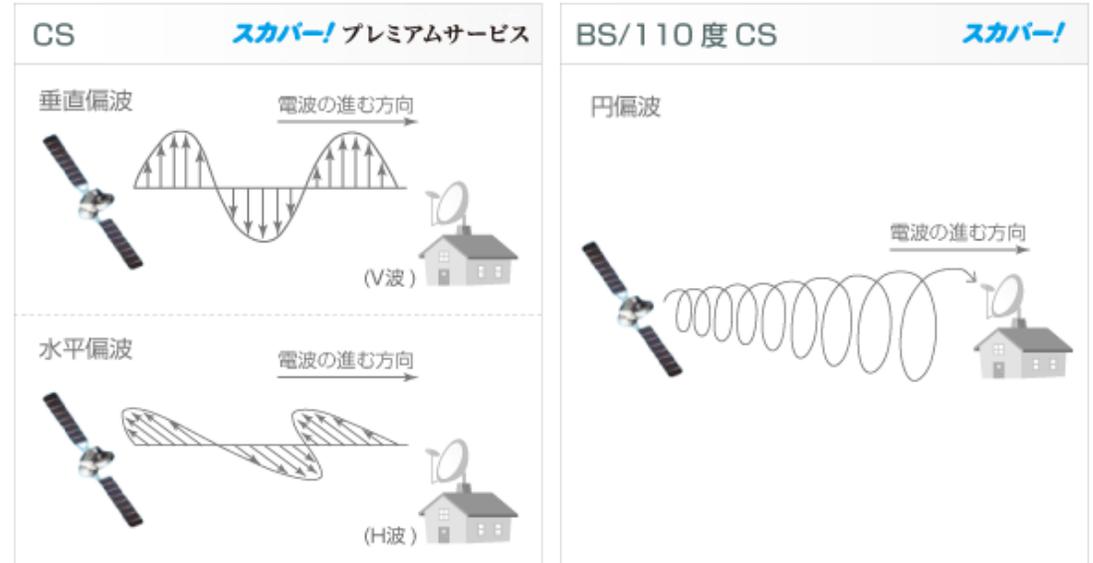
無指向性アンテナ
(携帯電話、WiFi、トランシーバー etc)



指向性アンテナ
(レーダー、テレビ放送、携帯基地局 etc)

2. 必要スペック

- ◆ 中心周波数 = 1575.42MHz (GNSS L1帯)
- ◆ 偏波面 = 右円偏波(RHCP)
- ◆ アンテナ利得 = 10dBi以上
- ◆ VSWR(電圧定在波比) = 2以下
- ◆ 実験用なのでできるだけ安価に



GNSSパッチアンテナ
2~4dBi



地デジ用八木アンテナ
8~13dBi



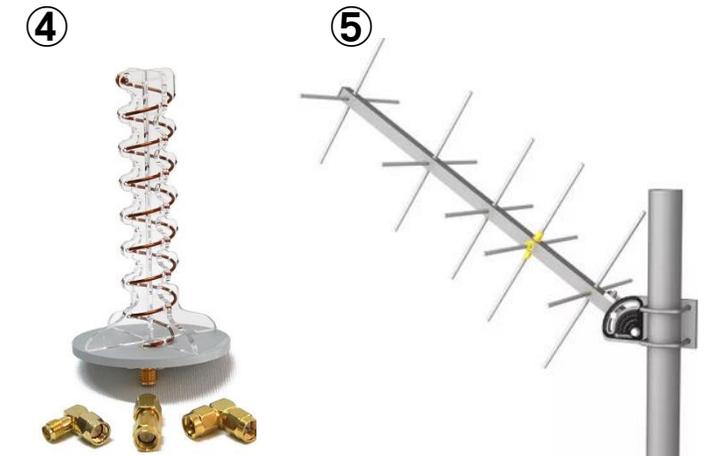
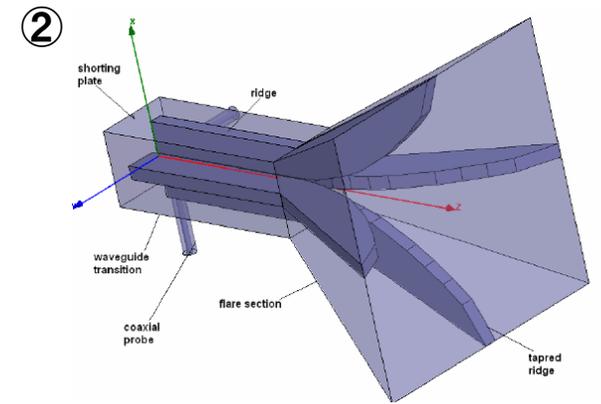
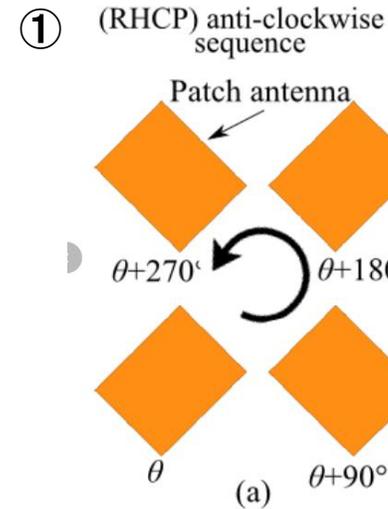
インマルサットGX用パラボ
ラアンテナ
30~40dBi

3. アンテナデザイン

円偏波の指向性アンテナには以下の選択肢がある

- ① アレイアンテナ
- ② クアッドリッジホーンアンテナ
- ③ パラボラアンテナ
- ④ ヘリカルアンテナ
- ⑤ クロス八木アンテナ

今回は低コストで工作が容易かつ、ヘリカルアンテナよりも指向性の高い**クロス八木アンテナ**を選択した。

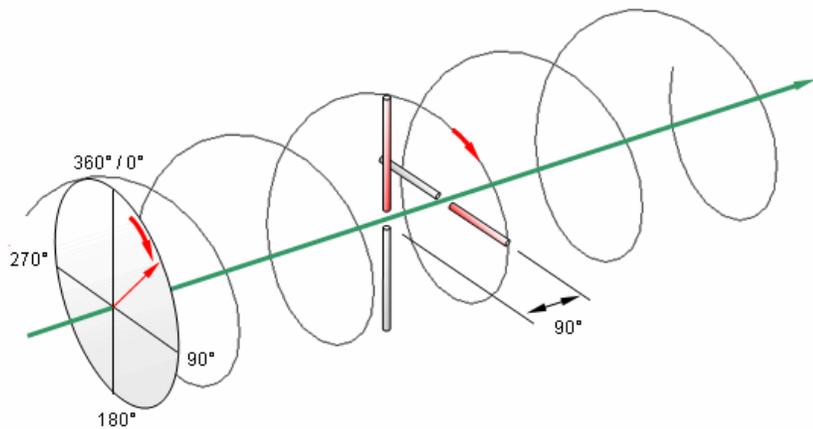


3. アンテナデザイン

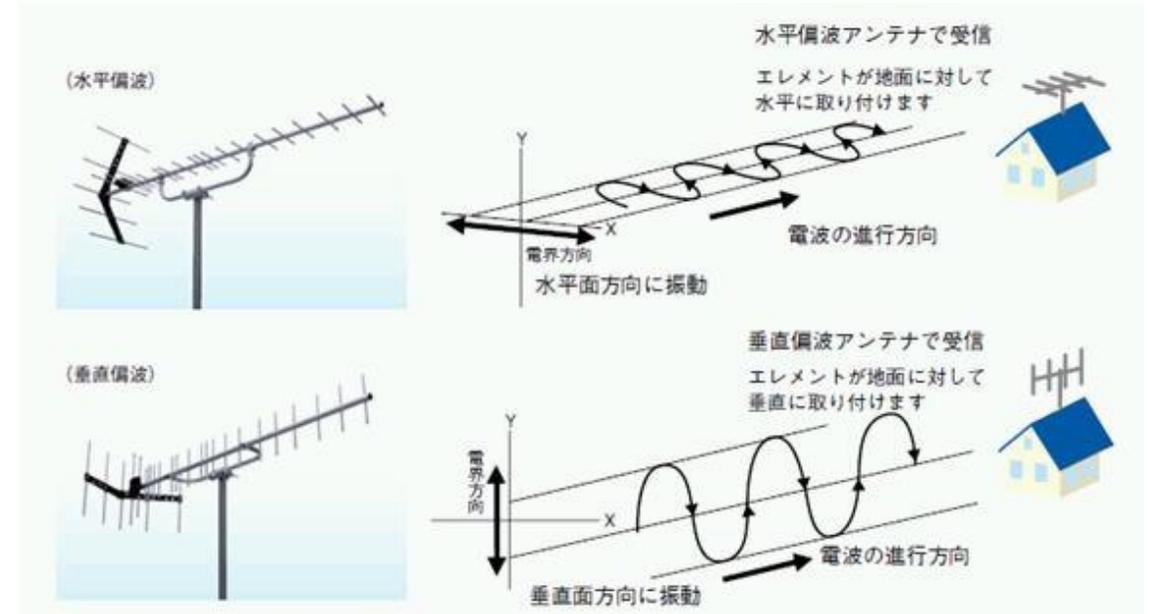
八木アンテナは通常直線偏波アンテナである。

しかし、垂直偏波の八木アンテナと位相を90度ずらした水平偏波の八木アンテナを組み合わせることで円偏波アンテナとなる。

クロス八木アンテナまたはXポール八木アンテナと呼ばれる。



クロス八木アンテナの放射器と電界ベクトルの軌跡



*DX ANTENNA HPより

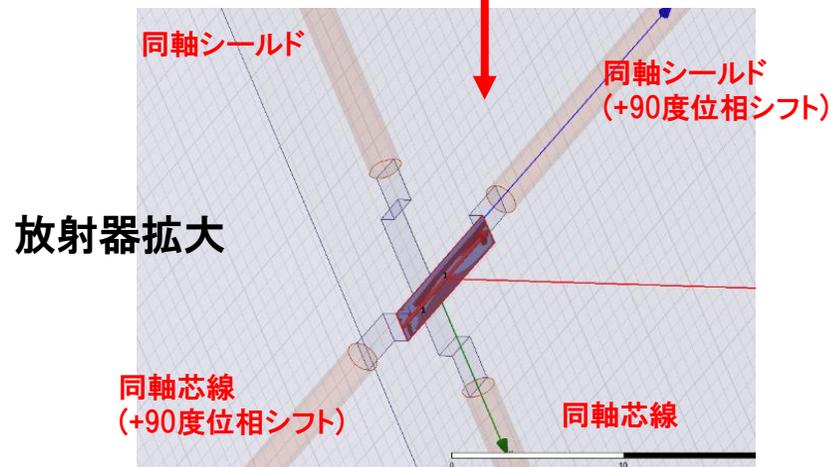
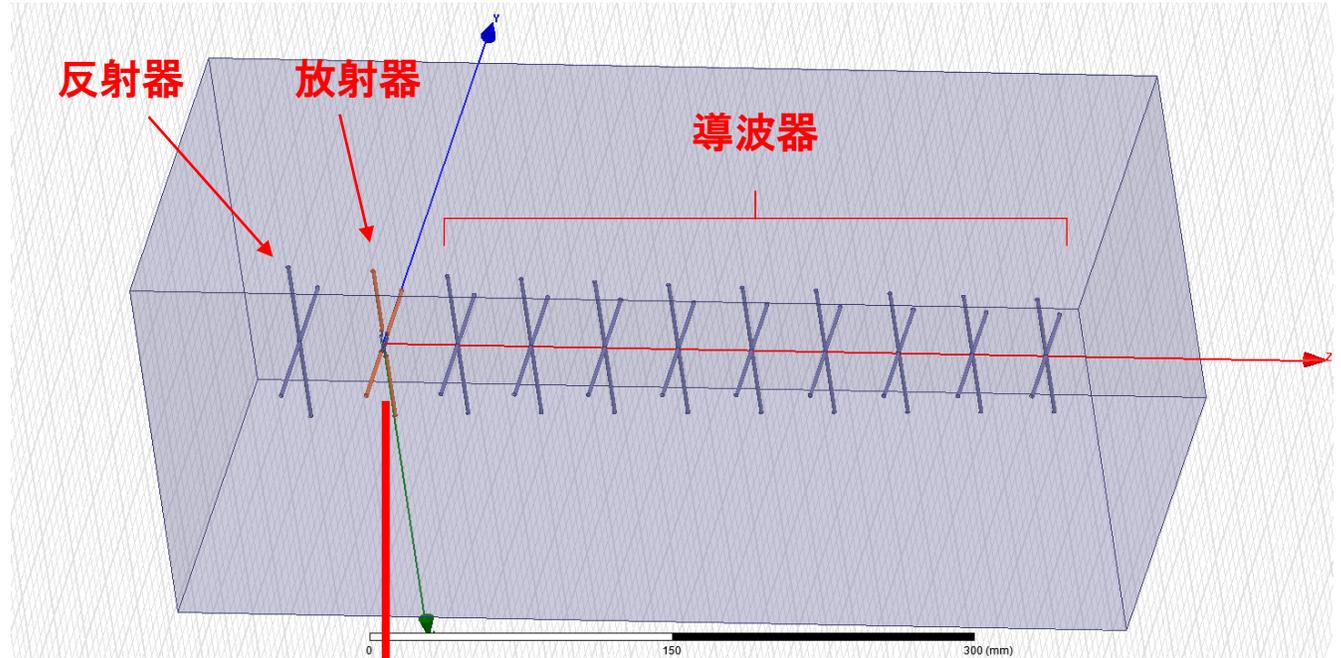
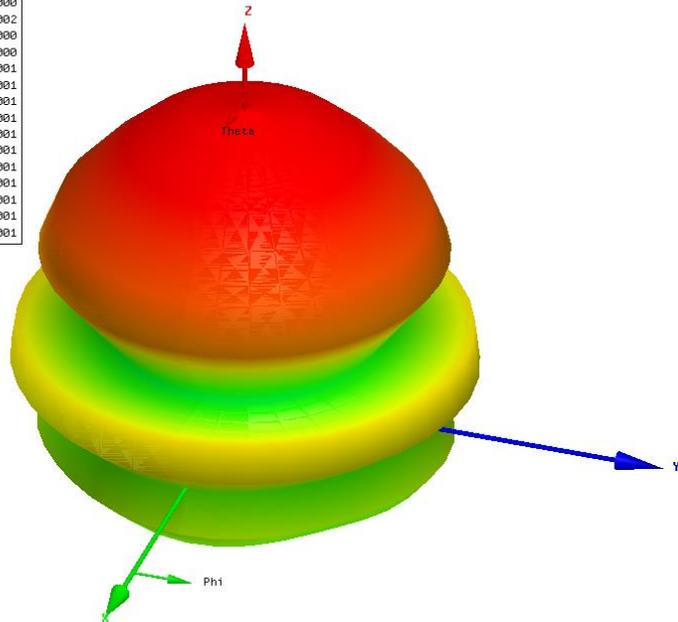
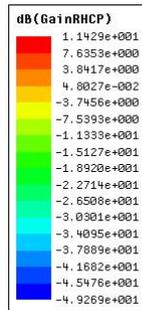
3. アンテナデザイン

シミュレーションソフトMMANA(フリー)と
Ansys HFSS(有料)を使用して設計を行った。

1.5mm真鍮線による11エレメント

RHCPで11.4dBi

ビーム幅±20度, VSWR 1.41



3. アンテナデザイン

MMANA(フリー)では円偏波のシミュレーションができず、垂直偏波と水平偏波に分かれてしまうが、クロス八木アンテナの設計は可能。

MMANA - C:\Users\kd650e\OneDrive\ドキュメント\kaiyoGNSS\spoofing\crossyagi\crossyagi1

アンテナ定義 | アンテナ形状 | 計算 | パターン

Name: CrossYagi_v3 Freq: 1575.420 MHz

Wire 22本 自動分割 DM1: 400 DM2: 40 SC: 2.0 EC: 1

No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.
14	0.19	0.03795	0.0	0.19	-0.03795	0.0	1.0	0
15	0.228	0.0	0.037	0.228	0.0	-0.037	1.0	0
16	0.228	0.037	0.0	0.228	-0.037	0.0	1.0	0
17	0.266	0.0	0.03605	0.266	0.0	-0.03605	1.0	0
18	0.266	0.03605	0.0	0.266	-0.03605	0.0	1.0	0
19	0.304	0.0	0.0351	0.304	0.0	-0.0351	1.0	0
20	0.304	0.0351	0.0	0.304	-0.0351	0.0	1.0	0
21	0.342	0.0	0.03415	0.342	0.0	-0.03415	1.0	0
22	0.342	0.03415	0.0	0.342	-0.03415	0.0	1.0	0

給電点 2個 電圧自動設定 集中定数 0個 有効

No.	PULSE	位相(°)	電圧(V)
1	w1c	0.0	5.0
2	w2c	90.0	5.0

MMANA - C:\Users\kd650e\OneDrive\ドキュメント\kaiyoGNSS\spoofing\crossyagi\crossyagi1

アンテナ定義 | アンテナ形状 | 計算 | パターン

CrossYagi_v3

Wire No. 5
X1: 0.038 m
Y1: 0.0 m
Z1: -0.04175 m
X2: 0.038 m
Y2: 0.0 m
Z2: -0.04175 m
R: 1.0 mm
長さ: 0.0835 m
動径: 0.0°
天頂: 180.0°

回転 視点 縮尺 視点表示 電流の振幅
電流分布を表示 分割の表示

MMANA - C:\Users\kd650e\OneDrive\ドキュメント\kaiyoGNSS\spoofing\crossyagi\crossyagi1

アンテナ定義 | アンテナ形状 | 計算 | パターン

CrossYagi_v3

Ga: 13.28(dBi) = 0dB (水平偏波)
Gh: 11.13(dBd)
F/B: 17.26(dB) 後方: 水平120° 垂直60°
Freq: 1575.42(MHz)
Z: 41.683+j13.513
SWR: 1.41(50.0Ω) 14.40(600Ω)
仰角: 0.0° (自由空間)

表示する偏波
垂直 水平 合算 重量

水平パターンの仰角

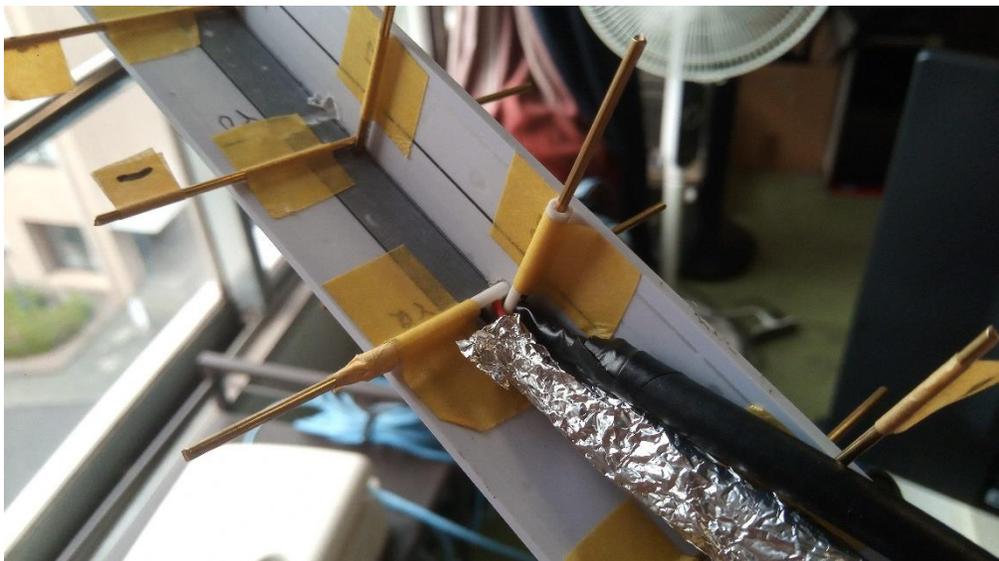
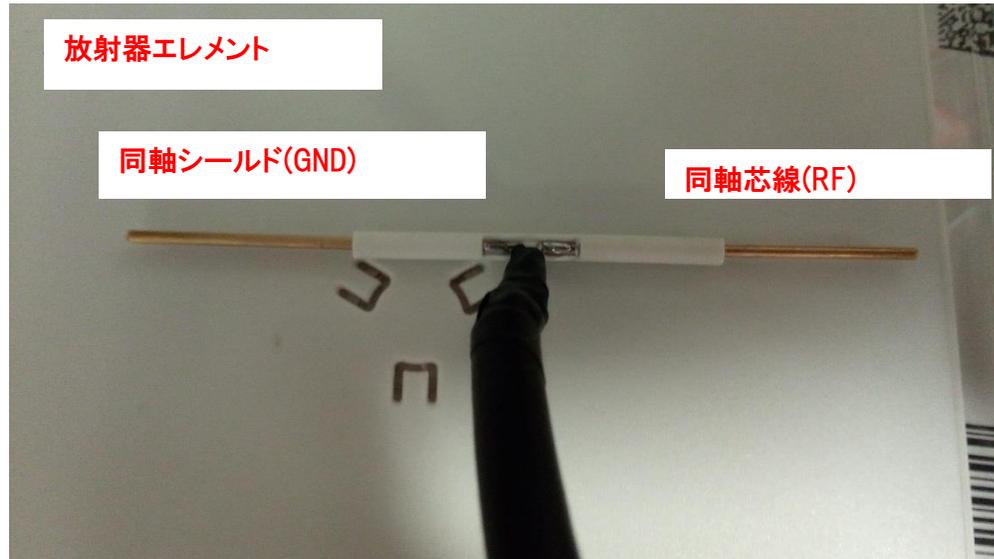
3. アンテナデザイン



放射器エレメント

同軸シールド(GND)

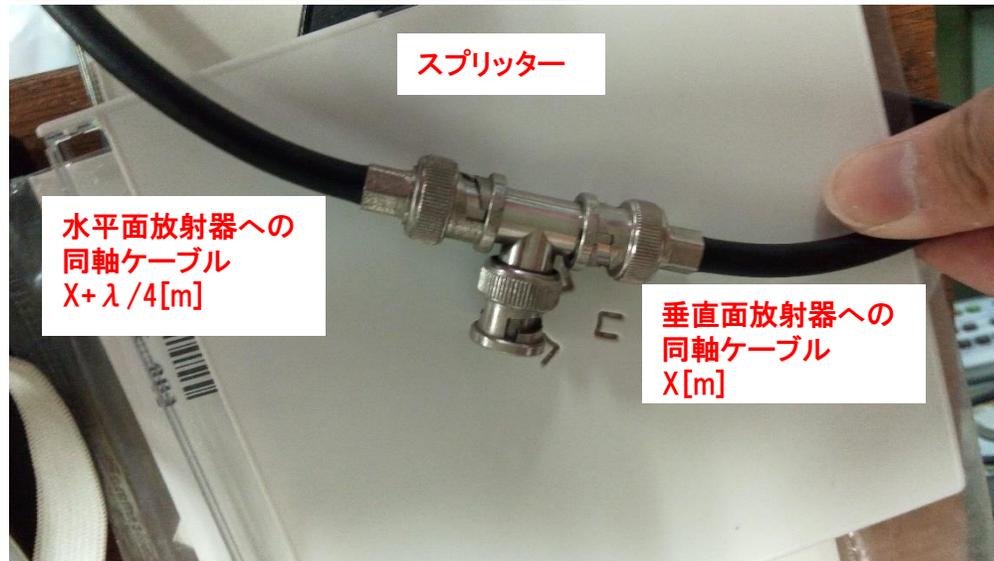
同軸芯線(RF)



水平面放射器への
同軸ケーブル
 $X + \lambda / 4$ [m]

スプリッター

垂直面放射器への
同軸ケーブル
 X [m]

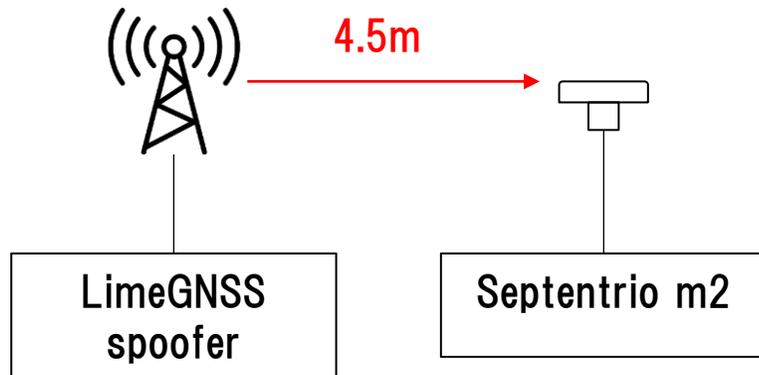


材料費	
フレーム材	¥400
エレメント	¥1,000
同軸ケーブル	¥1,000
同軸スプリッター	¥200
LNA*	¥10,000
バンドパスフィルタ*	¥1,200
DC block*	¥1,000
計	¥14,800
*受信用	

4. 屋内実験(送信)

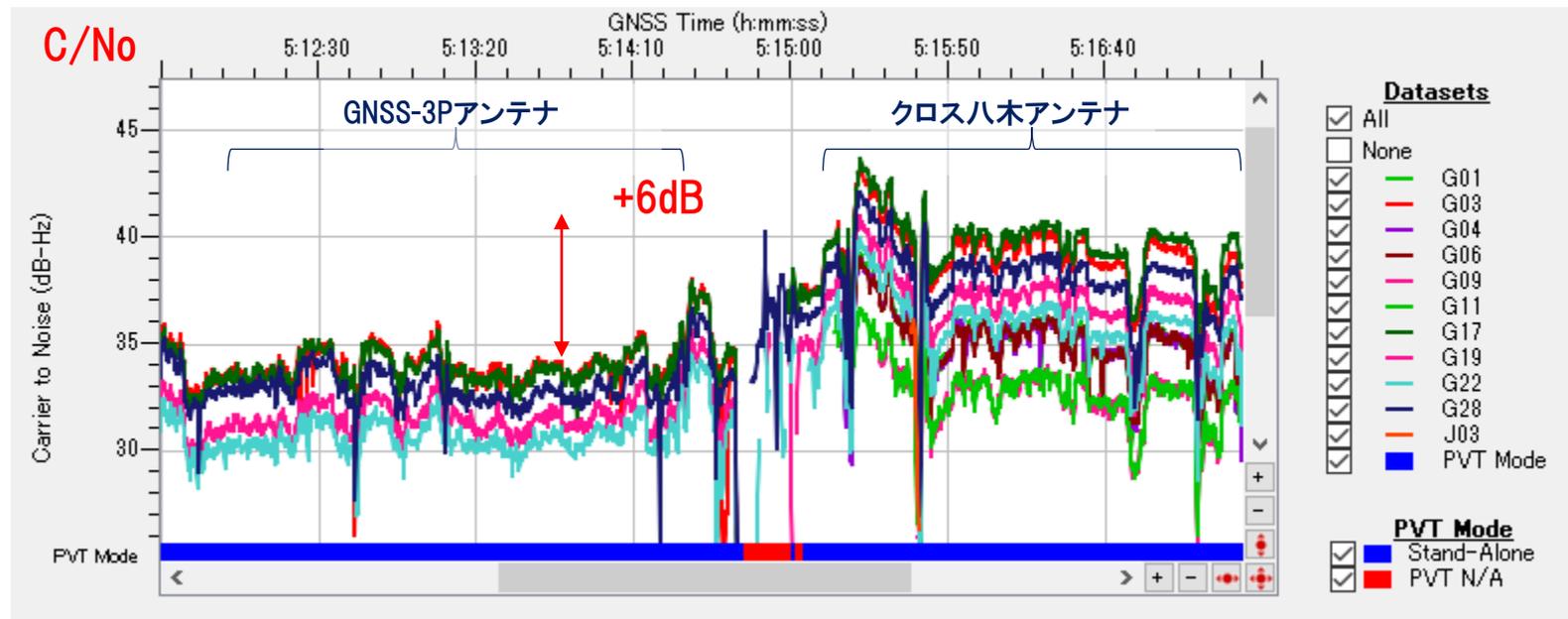
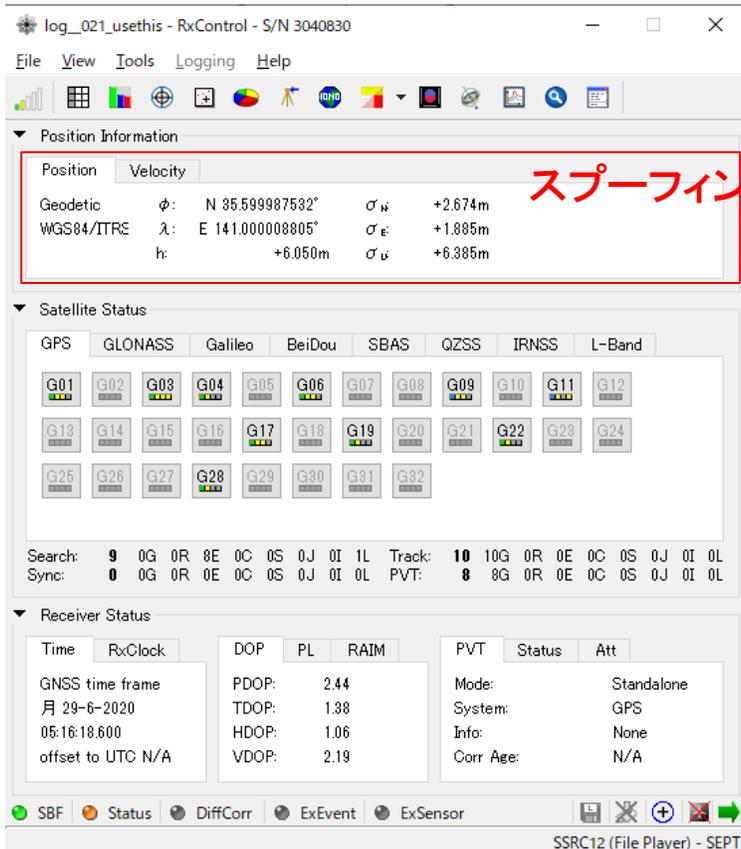
屋内でSpoofing信号を送信し、2つのアンテナで信号強度を比較した。

Spoofing信号	GPS L1C/A + QZSS L1C/A
送信電力	-75dBm
アンテナ間距離	4.5m
送信アンテナ1	GPS source GNSS-3P, 3.2dBi
送信アンテナ2	クロス八木アンテナ, 11.4dBi
GNSS受信機	Septentrio AsteRx m2
GNSSアンテナ	Tallysman TW4721 1周波マルチGNSS



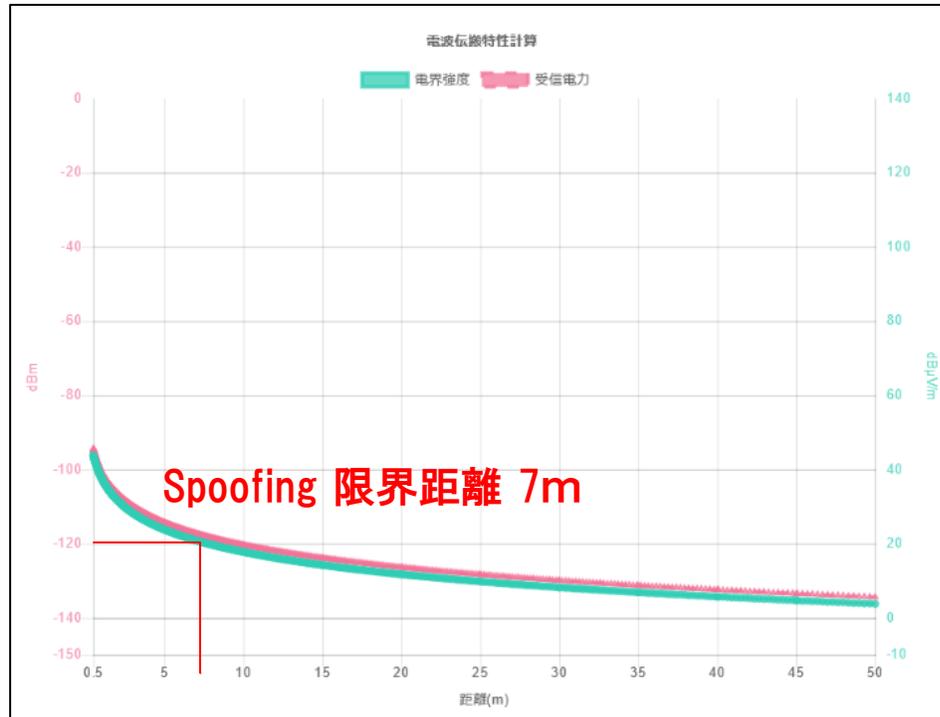
4. 屋内実験(送信)

同条件でアンテナを交換したときC/Noが6dBほど上昇した。
電波暗室ではない室内なのでマルチパスや散乱が多く含まれるが、到達信号の強度増幅は確認できた。

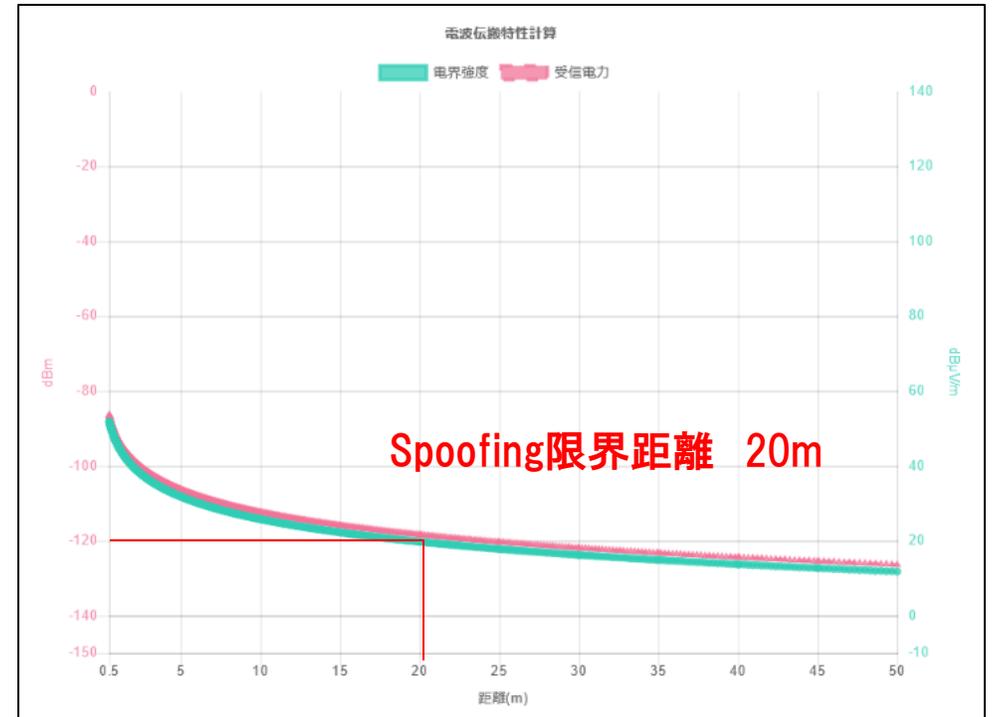


5. 屋外実験(送信)

アンテナに指向性を持たせ高利得とすることで、弱い出力の信号でもより遠距離に届けられることを屋外環境で実証した。



Spoofing出力=-70 dB
+
3dBi パッチアンテナ

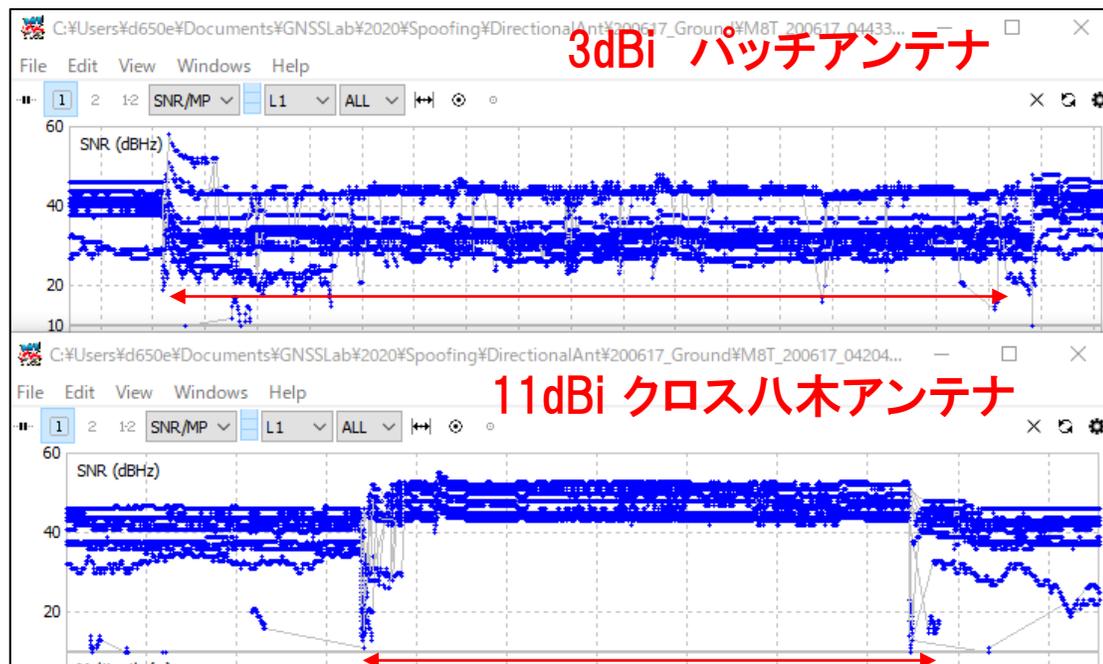


Spoofing出力=-70 dB
+
11dBi クロスハ木アンテナ

計算サイト:<https://www.circuitdesign.jp/technical/radio-wave-propagation-characteristics/>

5. 屋外実験(送信)

送信アンテナを変えて、7mの距離でスプーフィングを行った。



GPS L1C/A C/No

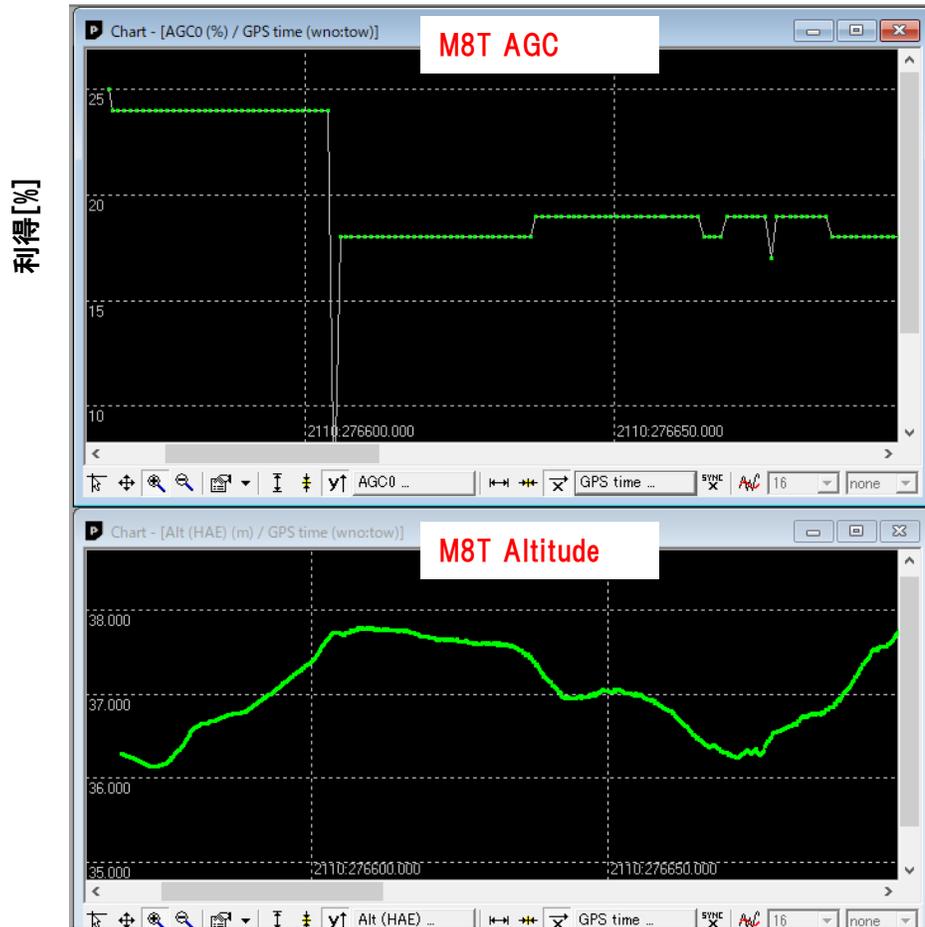


GNSS receiver
・受信機 ublox M8T (GPS+QZSS)
・アンテナ Tallysman TW4721

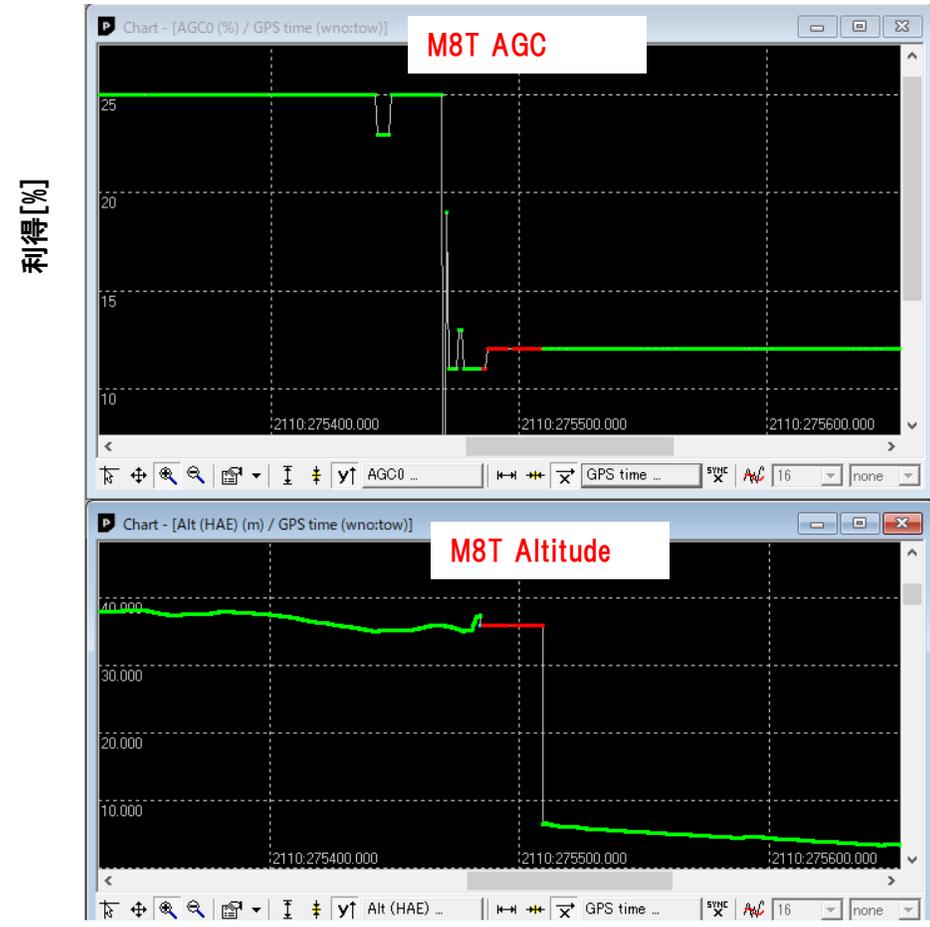
- ・ パッチアンテナでスプーフィングした際はスプーフィング信号がノイズとなって受信機側の総合的なノイズが増加した。スプーフィングは成功しなかった。
- ・ クロスハ木アンテナでスプーフィングを行った際はスプーフィング前に比べて強い信号で到達し、スプーフィングに成功した。

5. 屋外実験(送信)

M8TのRFフロントエンドのAGC(Automatic Gain Control)の値と測位結果。
AGCはクロス八木アンテナの方が大きく下がっている(=フロントエンドに入るL1帯信号レベルが大きい)



3dBi パッチアンテナ

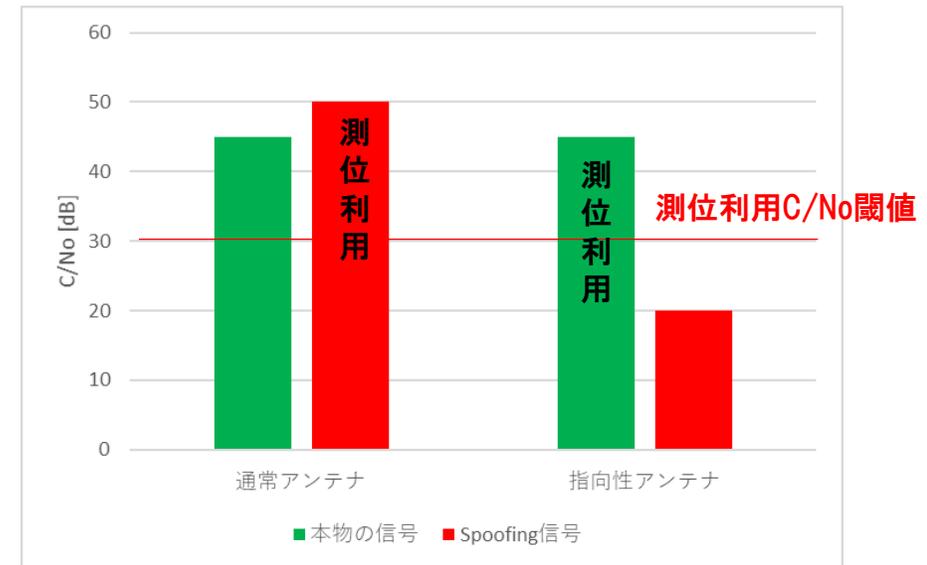
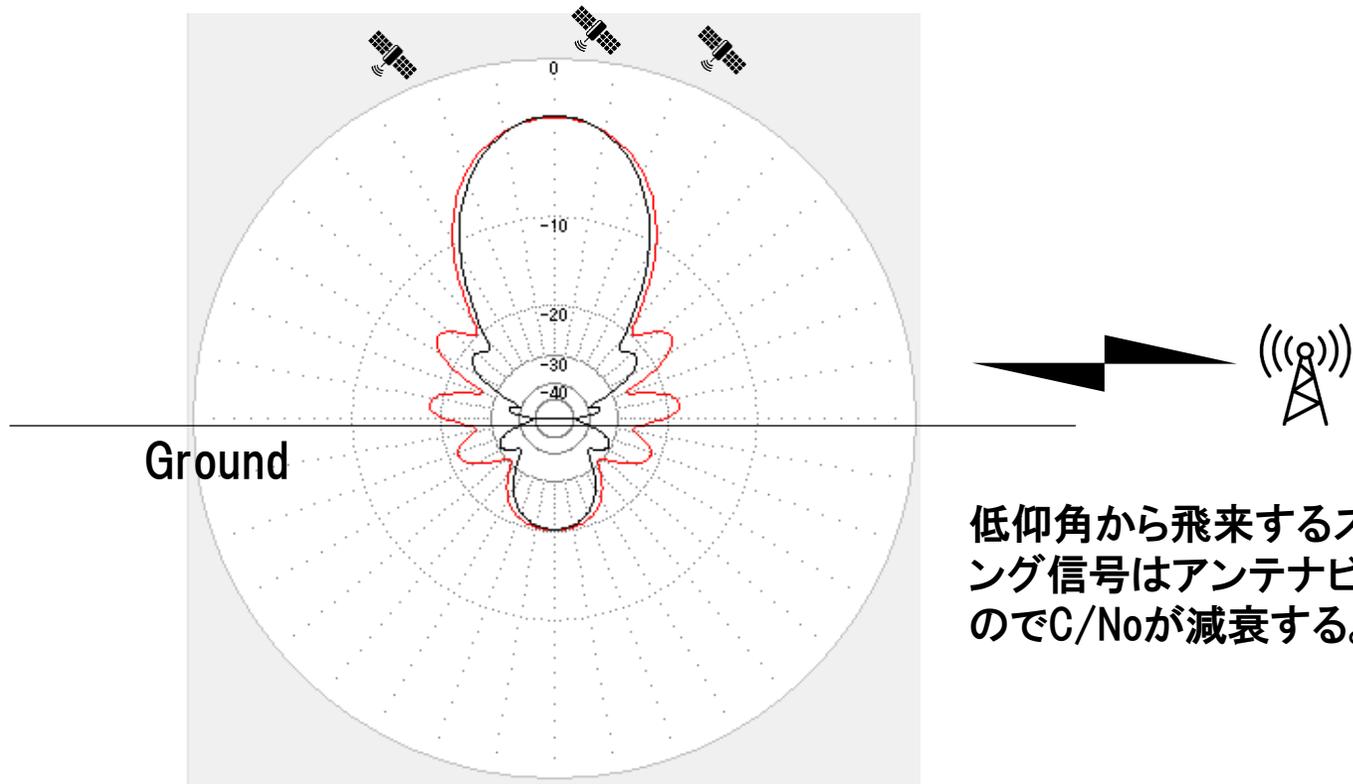


11dBi クロス八木アンテナ

6. 受信実験

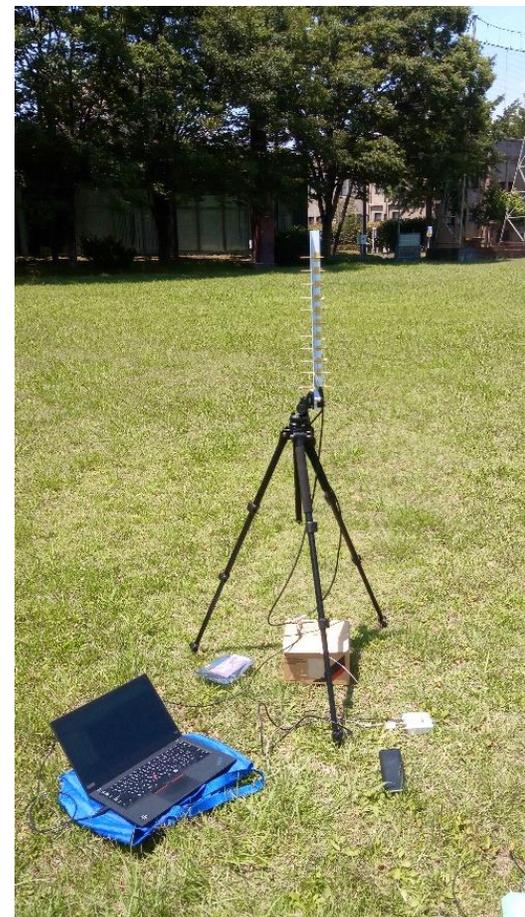
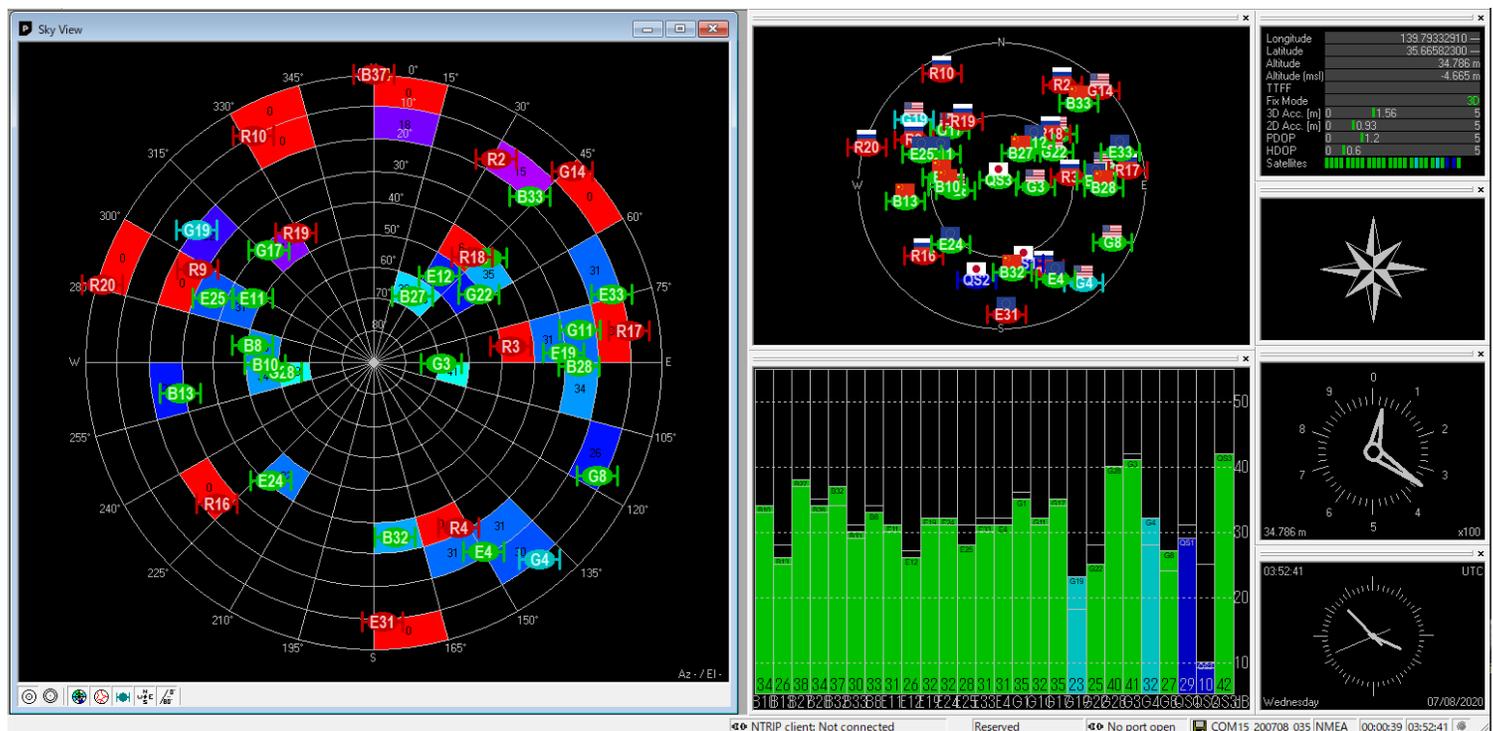
スプーフィング対策として指向性アンテナを用いてスプーフィング信号を減衰させる手法が提案されている。

今回試作したアンテナを受信に用いてこの手法を実験した。



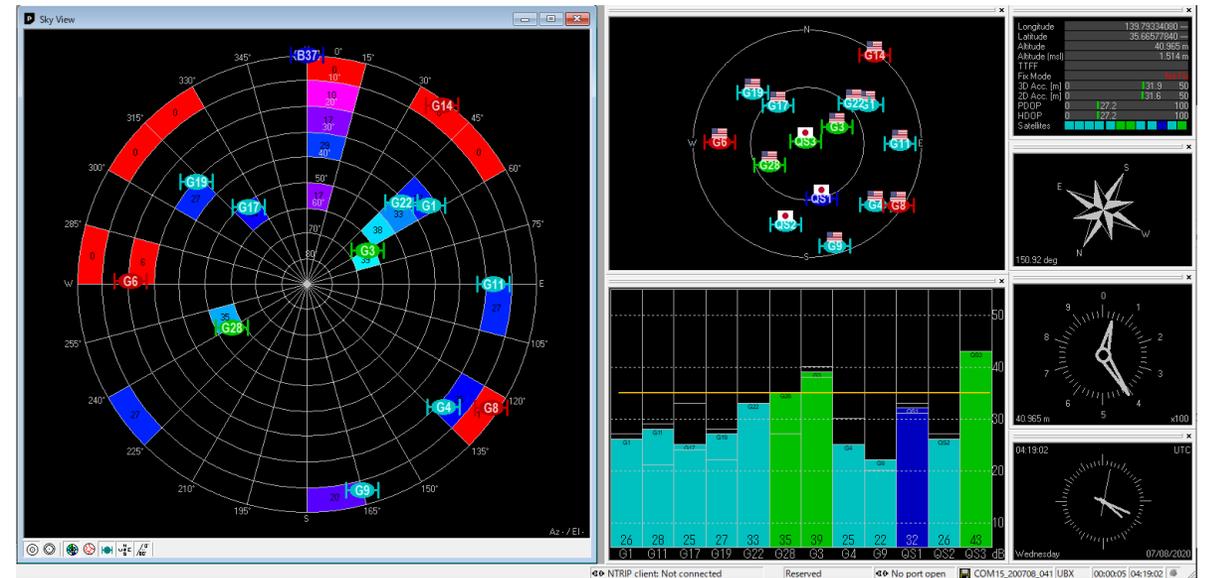
6. 受信実験

スプーフィングがない状態では、天頂方向のC/Noが43dBほどだったが、低仰角の衛星も30dB程度で受信できてしまっていた。



6. 受信実験

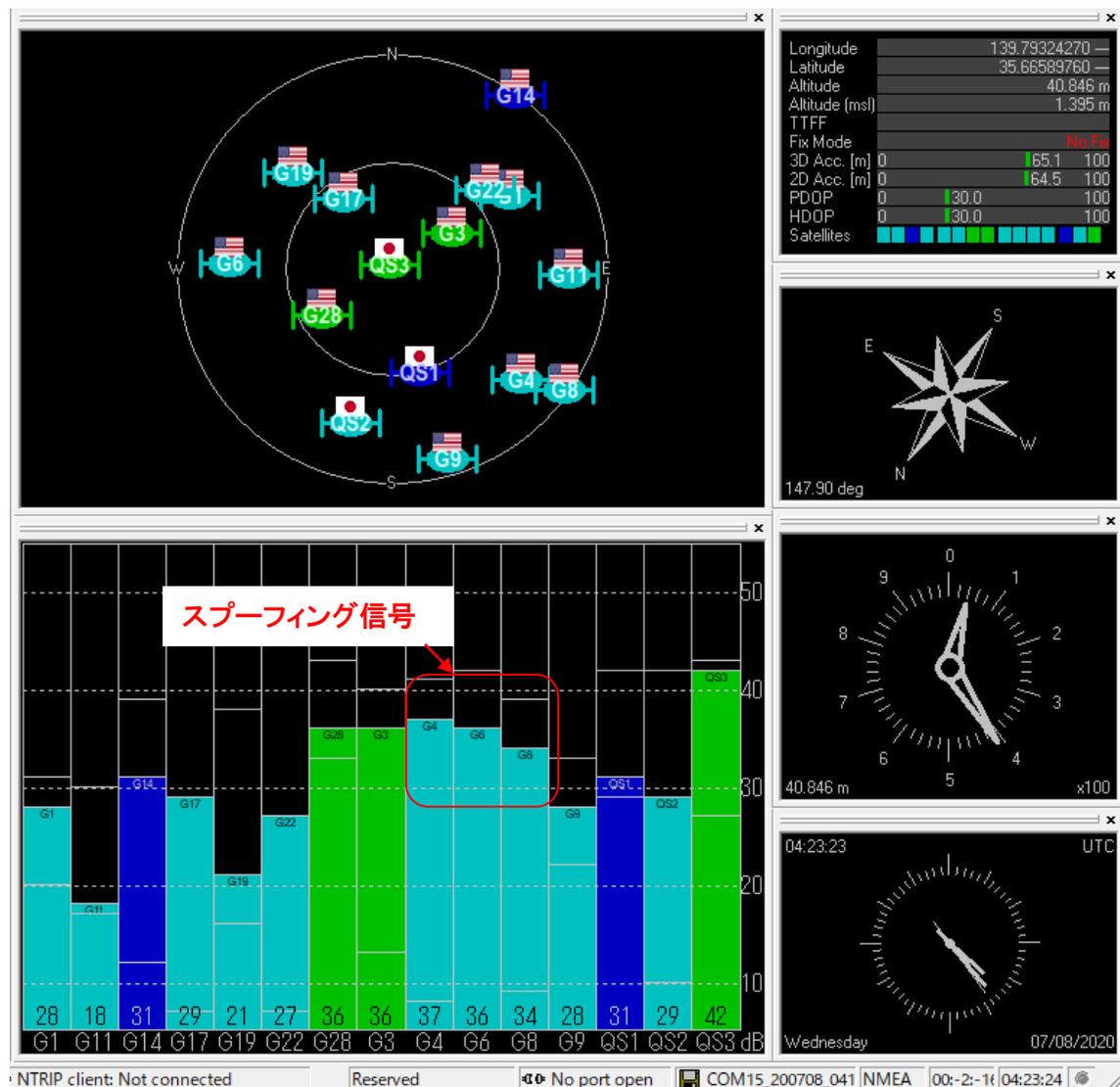
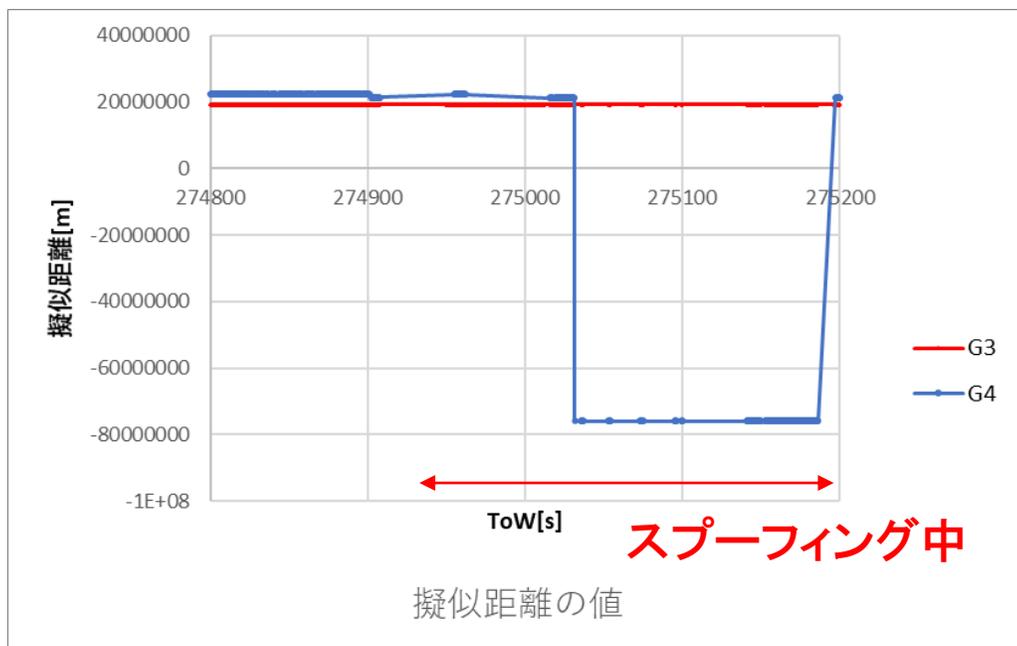
天頂を向けたクロス八木アンテナに対して水平方向からスプーフィングを行った。
受信機では天頂方向の衛星のみを測位に使用するようにC/Noマスクを35dBに設定した。



スプーフィング前

7. 受信実験結果

常に天頂の3基(G3,G28,J3)をトラッキングしていたためスプーフィングはされなかったが、一部のスプーフィング信号が閾値(35dB)よりも高いC/Noで侵入した。



8. まとめ

- ◆アンテナ利得の高いGNSS送受信用アンテナをクロス八木アンテナで試作した。
- ◆GNSS信号の送信においては従来のパッチアンテナに比べて利得向上の効果が見られた。
- ◆GNSS信号の受信においては市販パッチアンテナよりも劣る性能であったが指向性は確認できた。
(微弱なGNSS信号の受信には感度を上げてノイズを減らす必要がある)
- ◆指向性を利用してスプーフィング信号の受信を防ぐことは本アンテナでは難しかった。
(アンテナのサイドローブやバックローブを小さくする必要がある。)