

船用GNSS受信機への 妨害信号入力の試行と 軽減対策について

2023年9月1日

東京海洋大学

海運ロジスティクス専攻

修士課程1年

奥富 雄司

研究背景

安全で効率的な航海の実現にGNSS が大きく寄与

GNSS信号は微弱であり妨害信号の脅威が存在

安全運航への影響が懸念



画像引用元：

Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) © INTERTANKO 2019

妨害信号とスプーフィング

高額なシミュレーション装置を使用せずとも信号を作れる

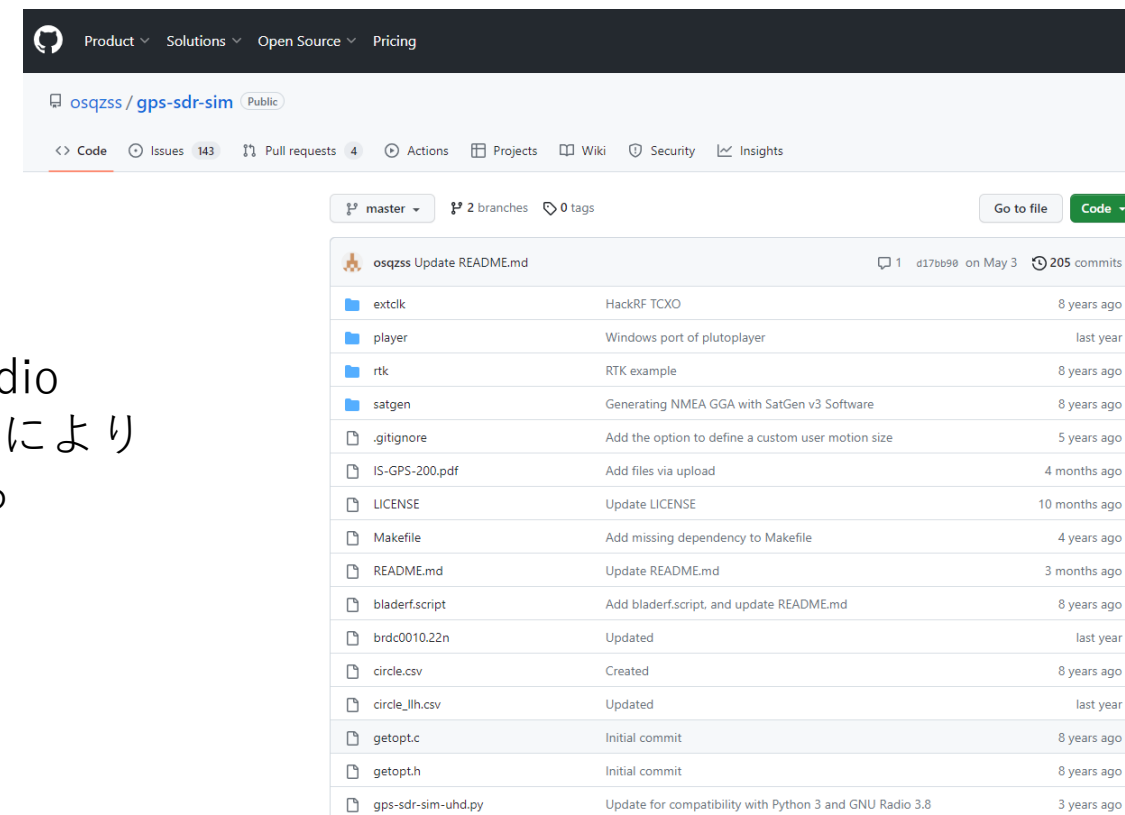


GPS妨害信号発生器



市販のSoftware Defined Radio
とGNSSシミュレータソフトにより
スプーフィング行為ができる

<https://github.com/osqzss/gps-sdr-sim>



The screenshot shows the GitHub repository page for `osqzss/gps-sdr-sim`. The repository is public and has 143 issues, 4 pull requests, 4 actions, 1 project, 1 wiki, 1 security, and 1 insight. The repository is on the `master` branch, with 2 other branches and 0 tags. The commit history is shown below, listing various files and their update dates.

File	Commit Message	Commit Date
osqzss Update README.md		1 d17bb90 on May 3 205 commits
extclk	HackRF TCXO	8 years ago
player	Windows port of plutoplayer	last year
rtk	RTK example	8 years ago
satgen	Generating NMEA GGA with SatGen v3 Software	8 years ago
.gitignore	Add the option to define a custom user motion size	5 years ago
IS-GPS-200.pdf	Add files via upload	4 months ago
LICENSE	Update LICENSE	10 months ago
Makefile	Add missing dependency to Makefile	4 years ago
README.md	Update README.md	3 months ago
bladerf.script	Add bladerf.script, and update README.md	8 years ago
brdc0010.22n	Updated	last year
circle.csv	Created	8 years ago
circle_1lh.csv	Updated	last year
getopt.c	Initial commit	8 years ago
getopt.h	Initial commit	8 years ago
gps-sdr-sim-uhd.py	Update for compatibility with Python 3 and GNU Radio 3.8	3 years ago

研究目的

船用GNSS受信器が妨害された場合の挙動を調査

妨害による測位不能が起こりうるか確認、妨害環境を再現

軽減対策の検討

妨害信号の入力

1. 有線接続で行う
2. 微弱電波の範囲で行う

対象とした船用GNSS機器：3種類

FURUNO

サテライトコンパス

SC-50

静定時間わずか3分
0.5°RMS以内の高精度方位測定を実現！



表示部
(コンパス画面)

JLR-7500/JLR-7800 (D)GPS navigator



JRC Japan Radio Co., Ltd.

since 1915

FURUNO

GPS

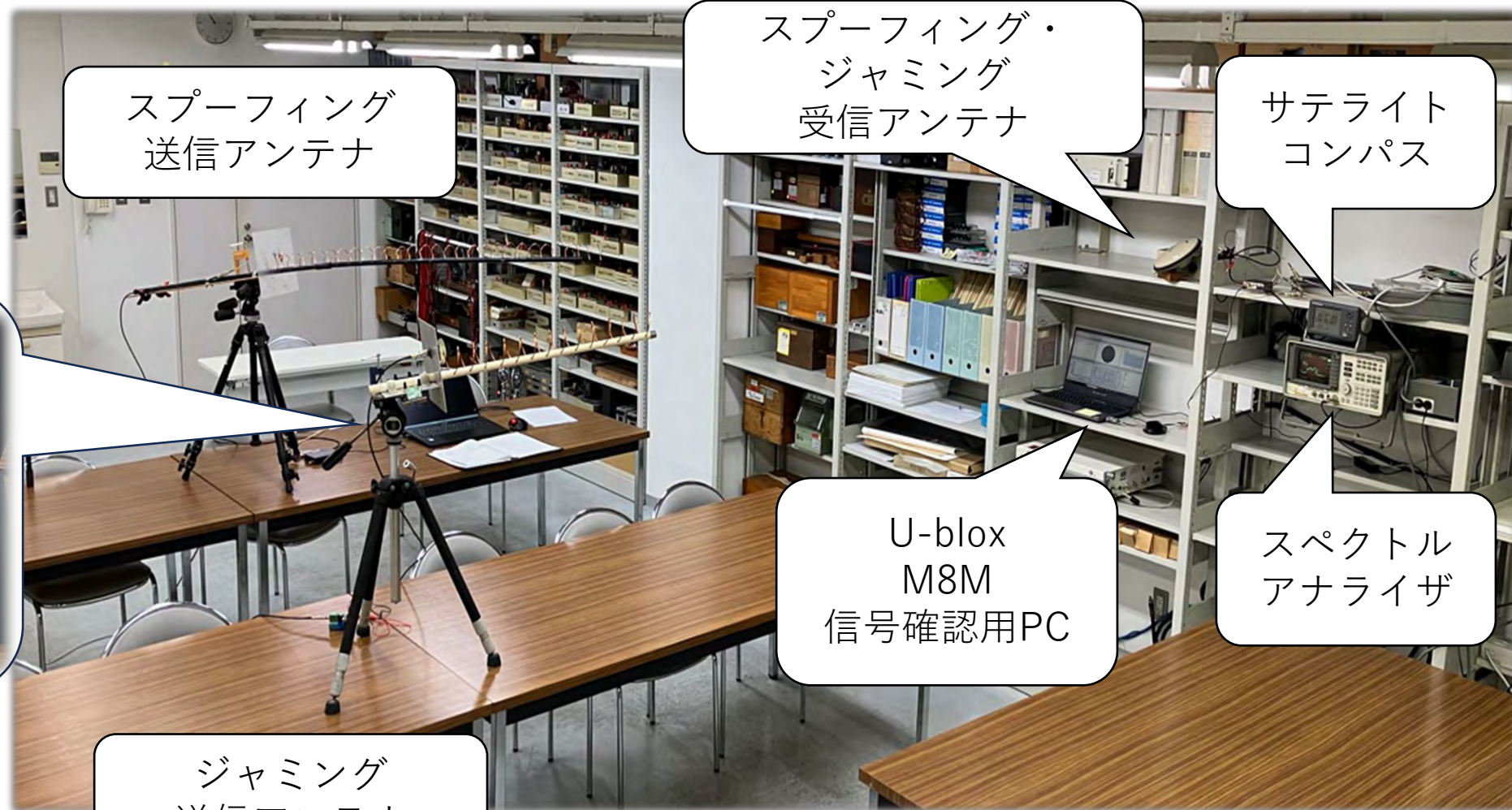
Global Positioning System

GPS航法装置



型式:
GP-170

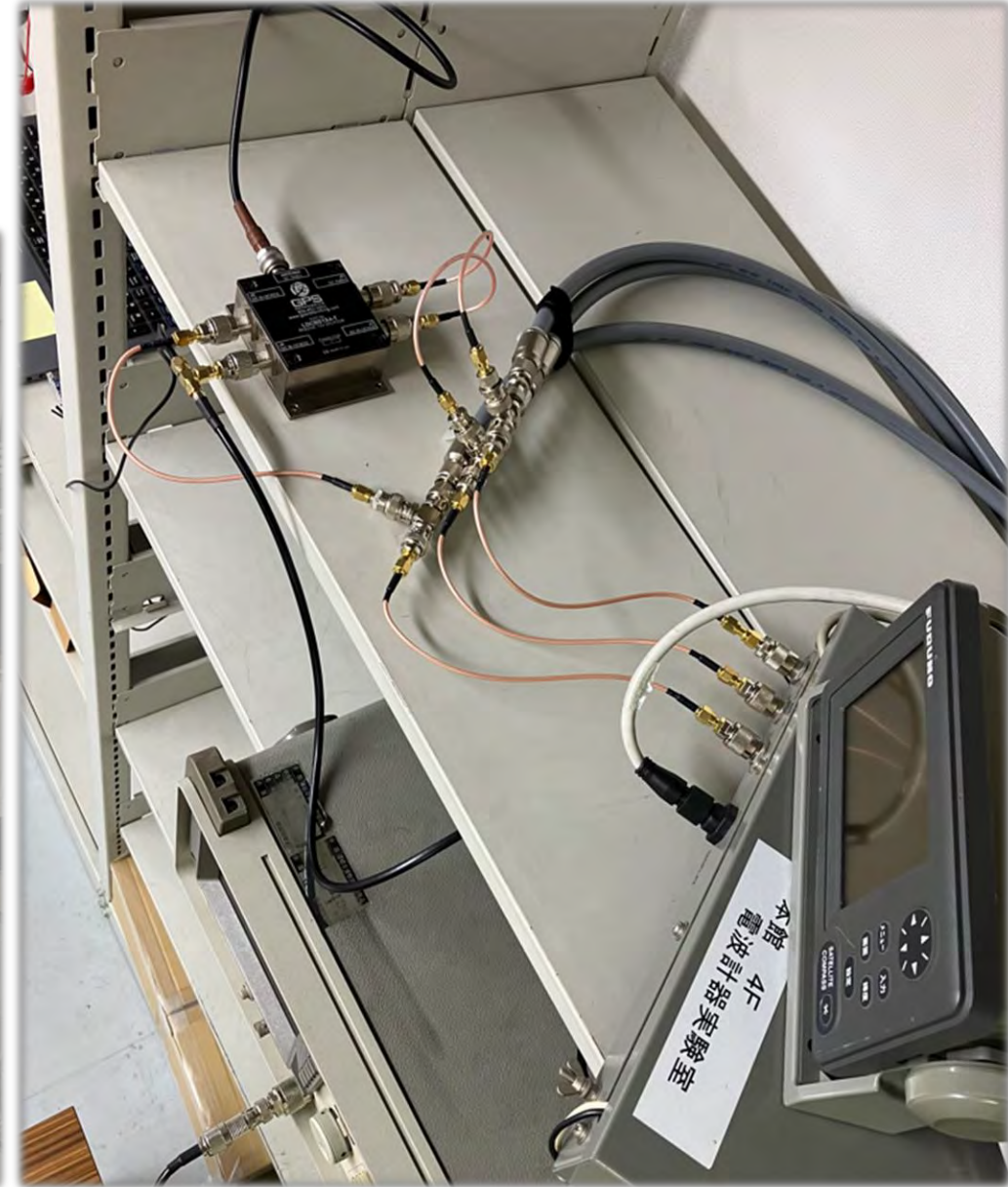
実験：-40dBm送信系統の写真



スプーフィング
信号生成PC
HackRF One

ジャミング
送信アンテナ

実験：受信系統の写真

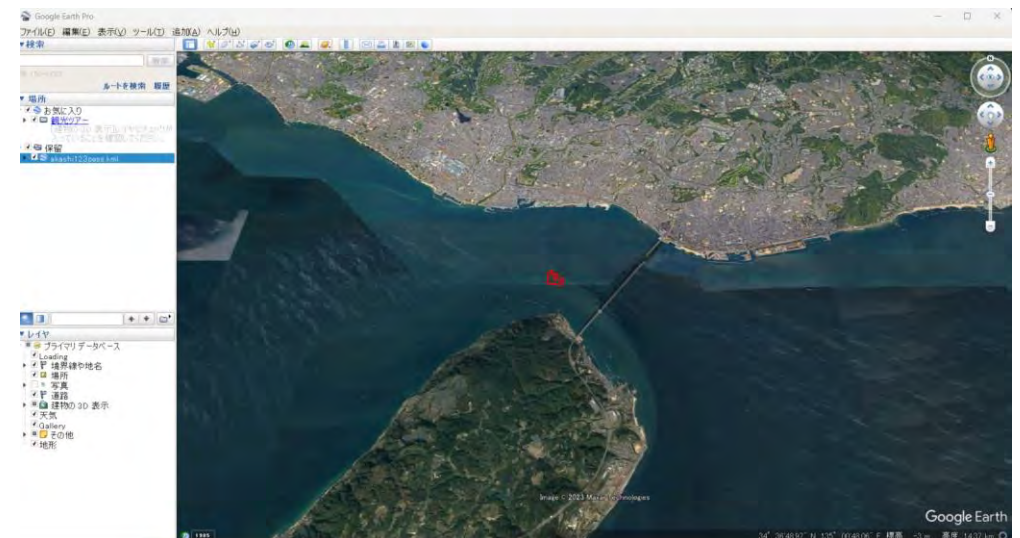


スプーフィング成功の判断成否

フルノコンパスは緯度経度の表示のみで航跡描画機能がない

そのためスプーフィング発生時は経度が**135度00分XX秒**

となるように、船舶を想定して、経度を現実的かつ特徴をもたせた経路設定とした



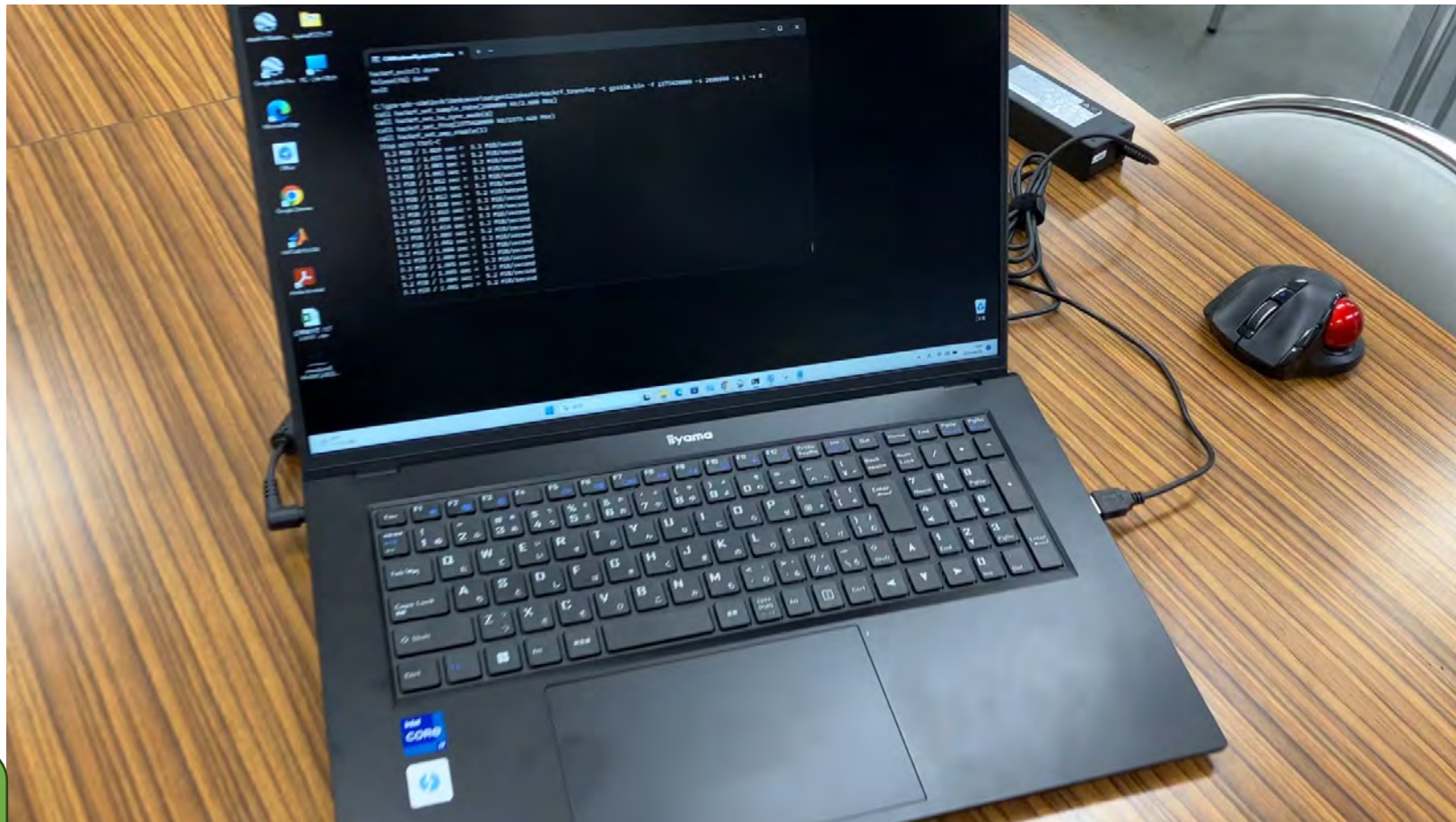
実験の結果：スプーフ成功

微弱電波でスプーフ信号を送信、ヘリカルで受信

送信
ヘリカル

受信
ヘリカル

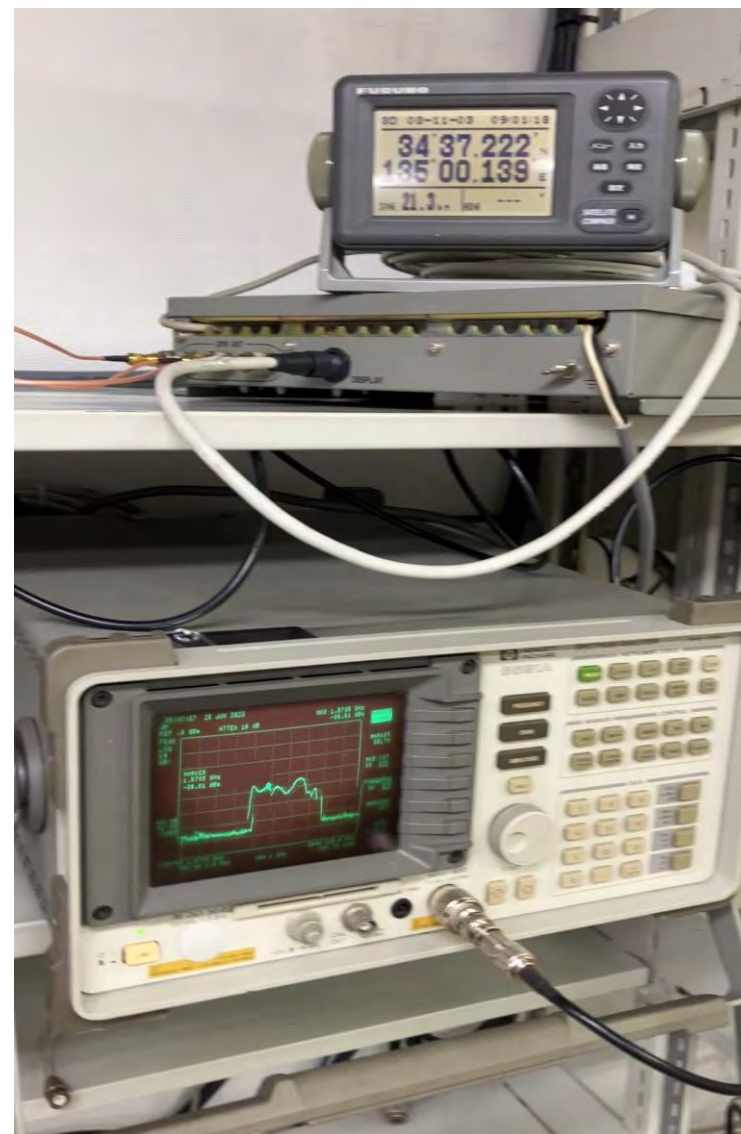
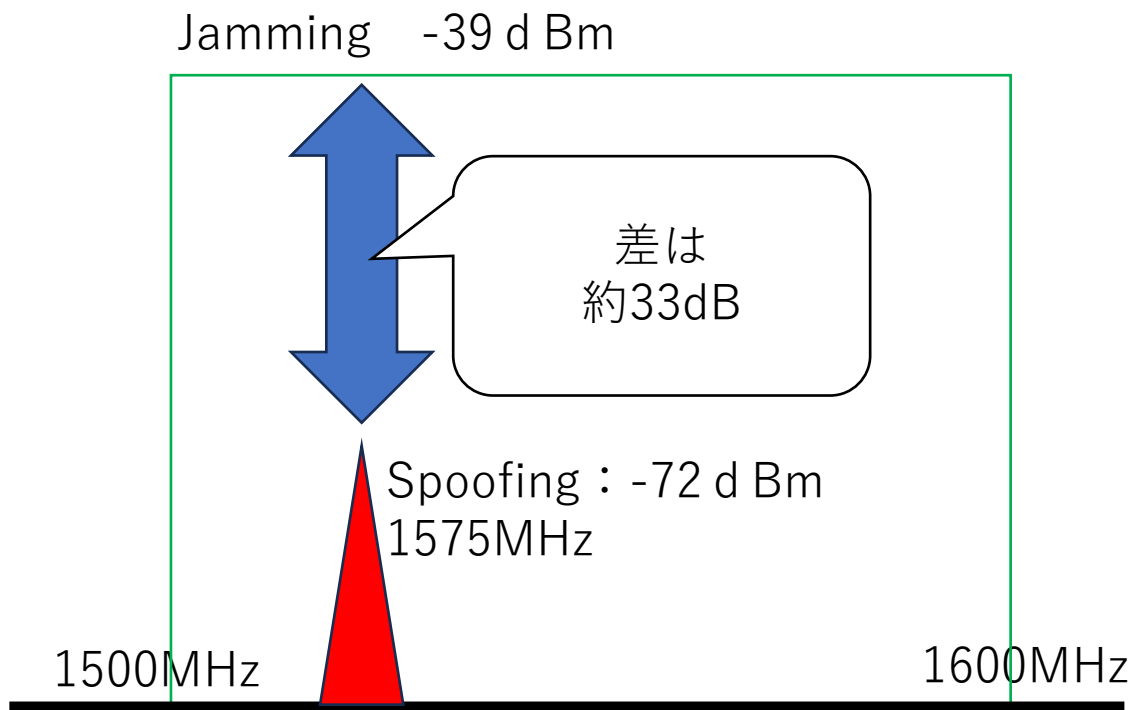
動画による状況説明



受信レベルの
不自然な増大

実験5結果：スプーフ成功 ジャミング有線-39dBm

動画による状況説明



動画の音声解説では受信電力の
引き算の計算を間違えています
正しくは上の図で
-39dBm と -72dBmの差の33 d Bが正しい

実験風景



送信
ヘリカル
アンテナ

送信用
PCと
HackRF One

JRC
GPS
アンテナ

練習船海技丸：GPSとECDISを搭載

FURUNO

ECDIS

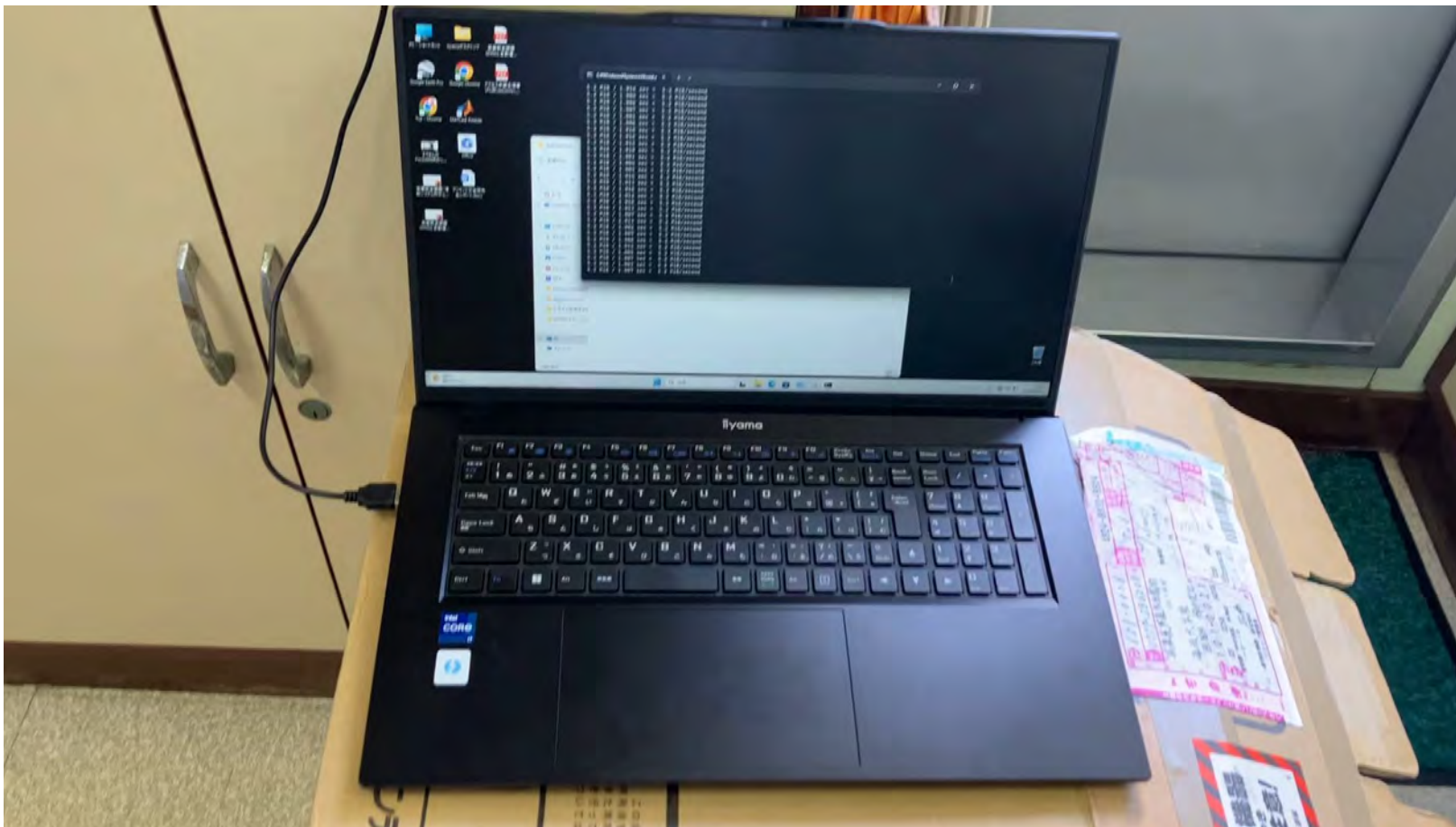
Electronic Chart Display and Information System

電子海図情報表示装置



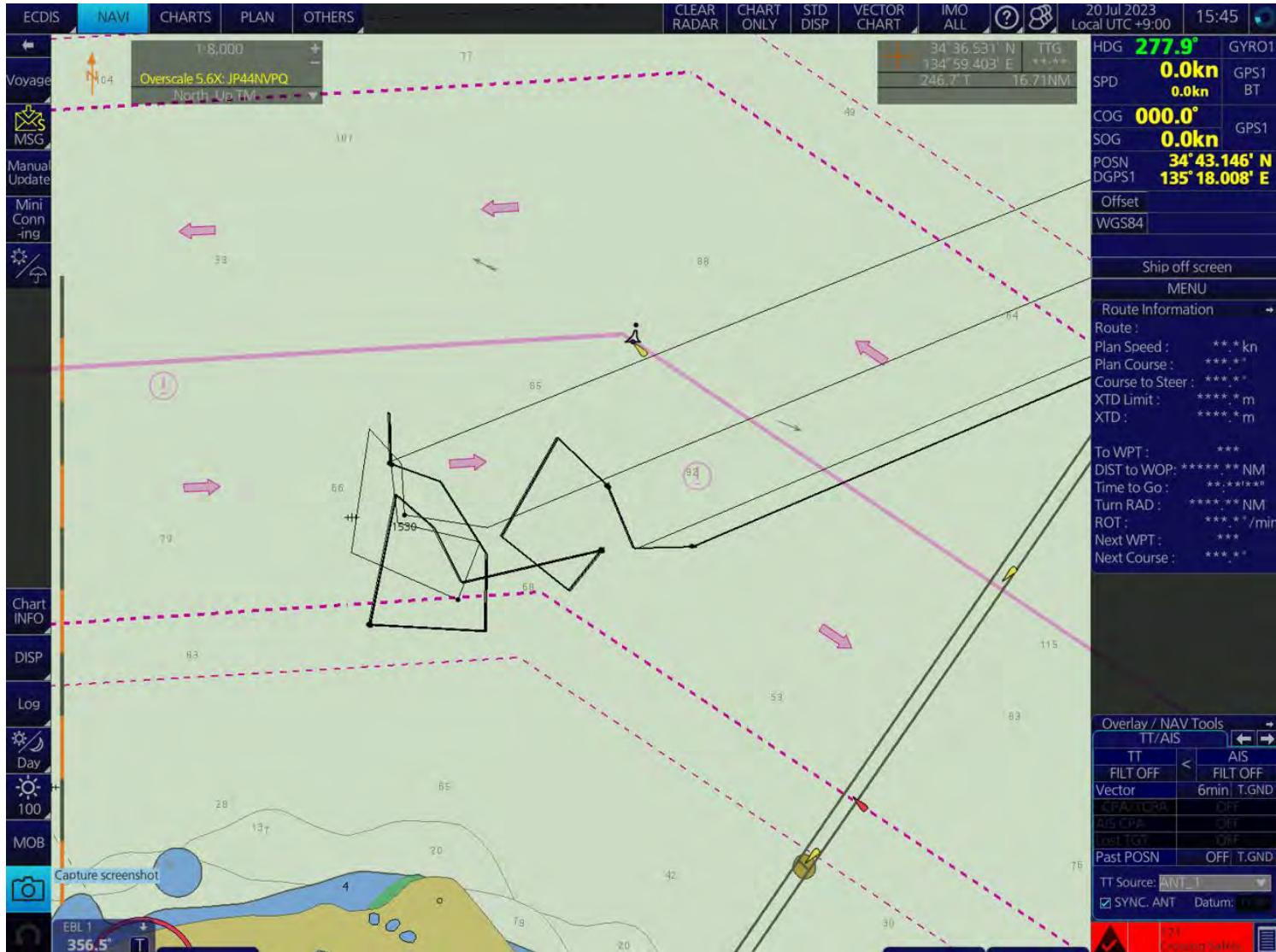
型式：
FMD-3200 (19型LCD表示器タイプ)
FMD-3300 (27型ワイドまたは23.1型LCD表示器タイプ)
FMD-3200-BB (ブラックボックスタイプ)

スプーフィング信号だけを入力した場合 (実衛星信号を入力しない)



動画です
再生願います

スプーフィングされた場合のECDIS画面

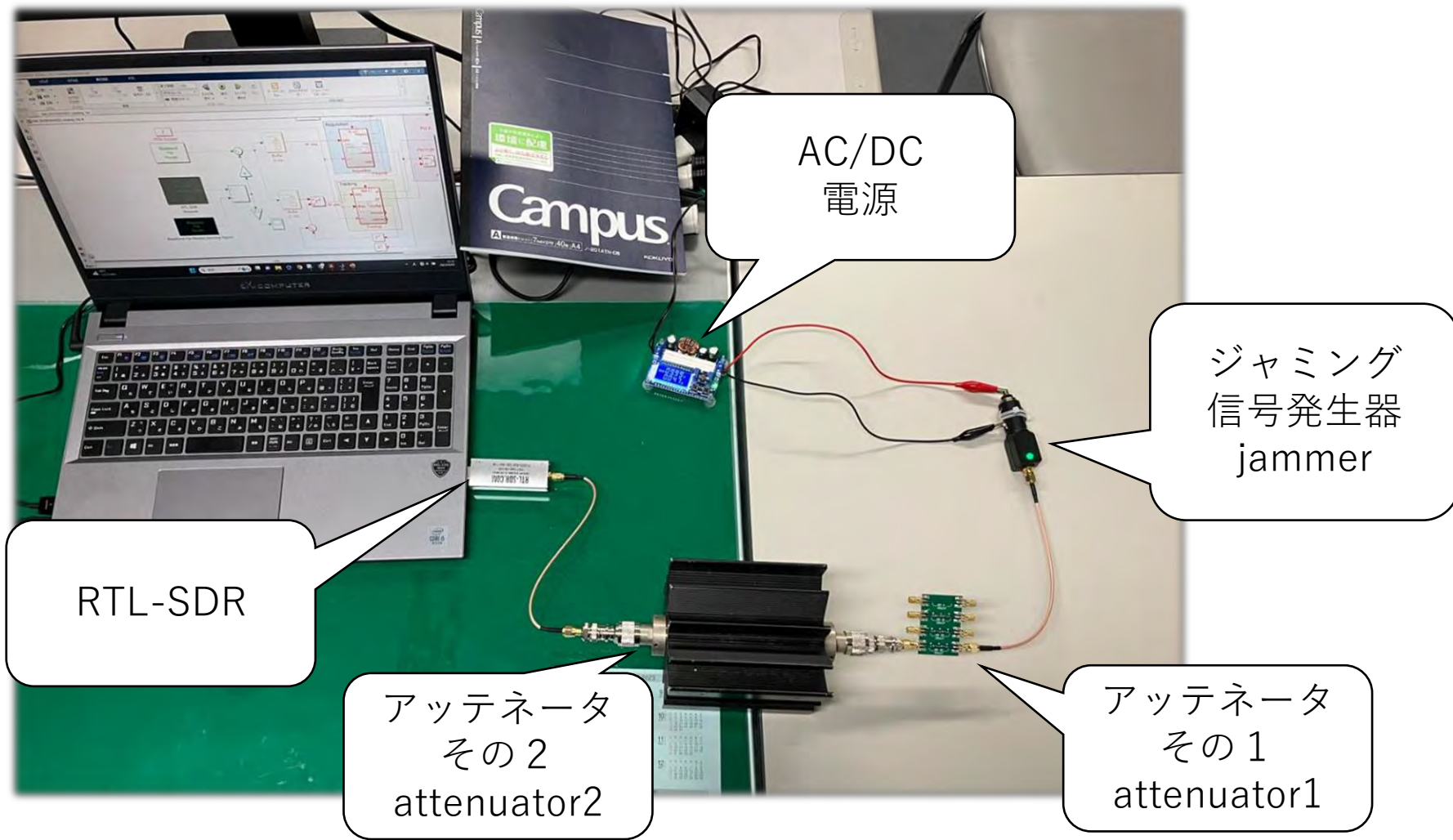


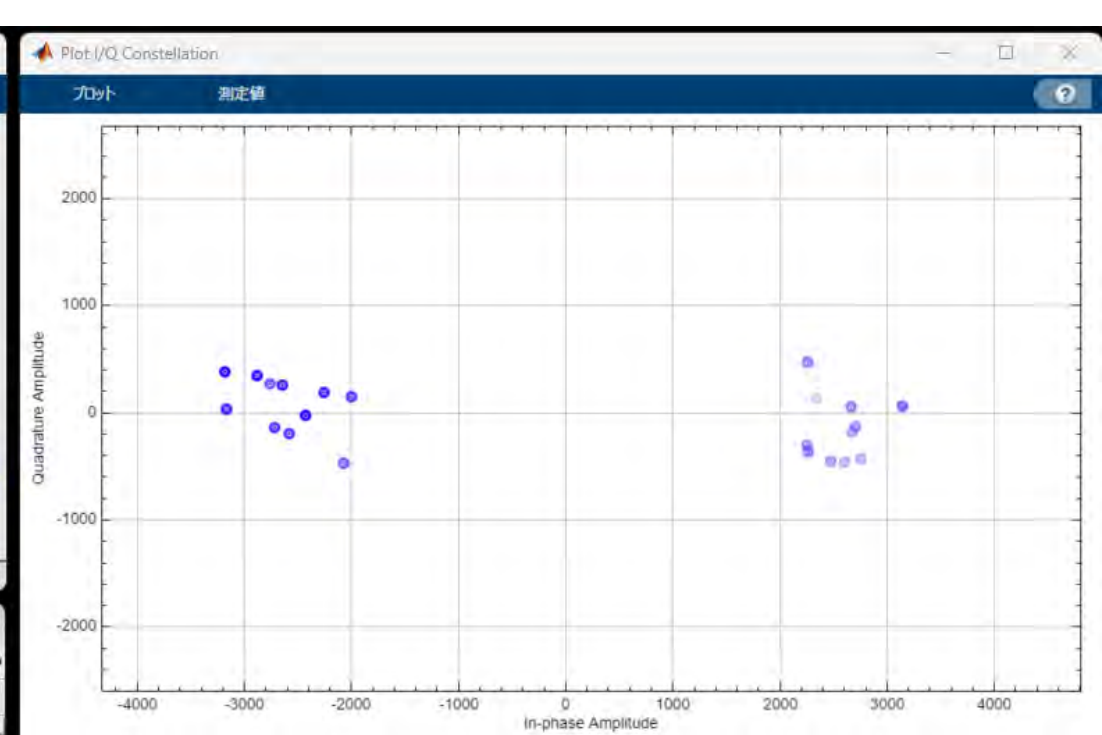
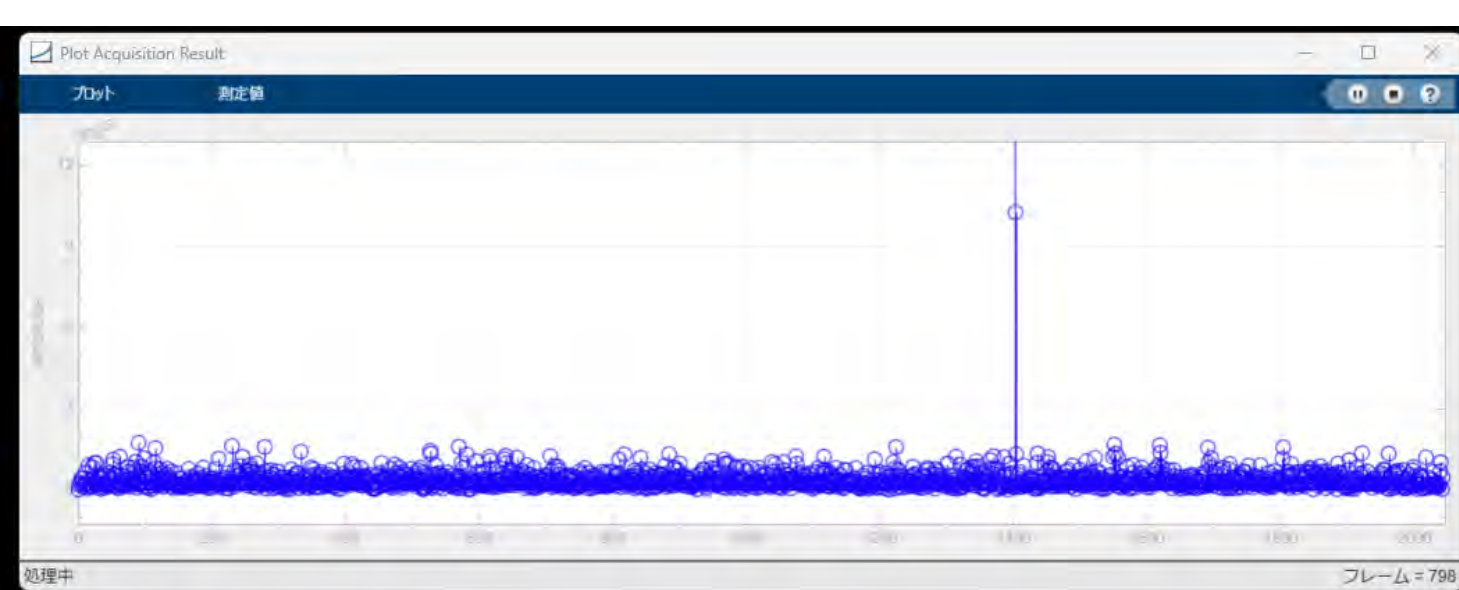
実験結果一覧

船用GNSS機種	スプーフィング 送信電力	スプーフィング 受信アンテナ	ジャミング有無 接続方法：入力電力	スプーフィング 可否	補足説明
フルノ製 サテライト コンパス SC-50	-72dBm	ノバテル	なし	×	測位不能が発生するのみ
	-72dBm	ヘリカル	なし	△	途中でスプーフィングが 途切れてしまい実衛星の正しい位 置に戻ることもある
	-72dBm	有線接続	あり 有線接続：-39 d Bm	○	
JRC製 JLR-7500	-72dBm	JRCアンテナ	なし	△	起動する前からスプーフィング をかければ可能
	-72dBm	JRCアンテナ	あり 無線接続：-72dBm	○	
フルノ製 GP-170	-72dBm	有線接続	あり 有線接続：-39 d Bm	×	測位不能が発生するのみ
	-60dBm	有線接続	あり 有線接続：-39 d Bm	×	測位不能が発生するのみ

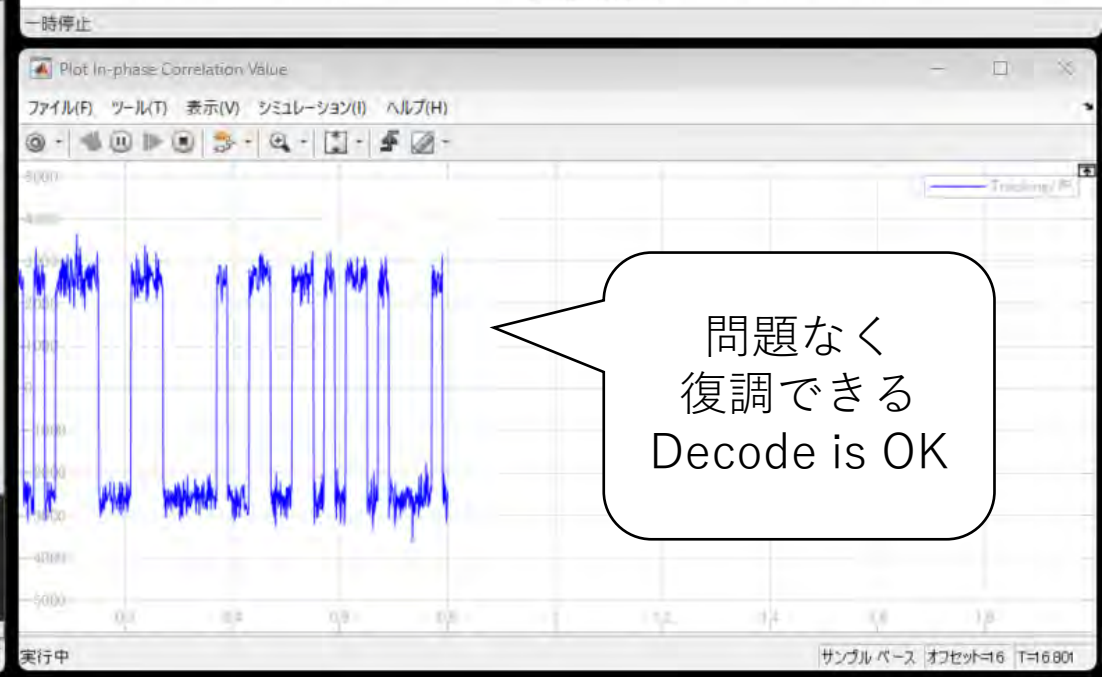
妨害波を観測し特徴を把握

ジャミング信号をSDRで受信してログファイルとして保存



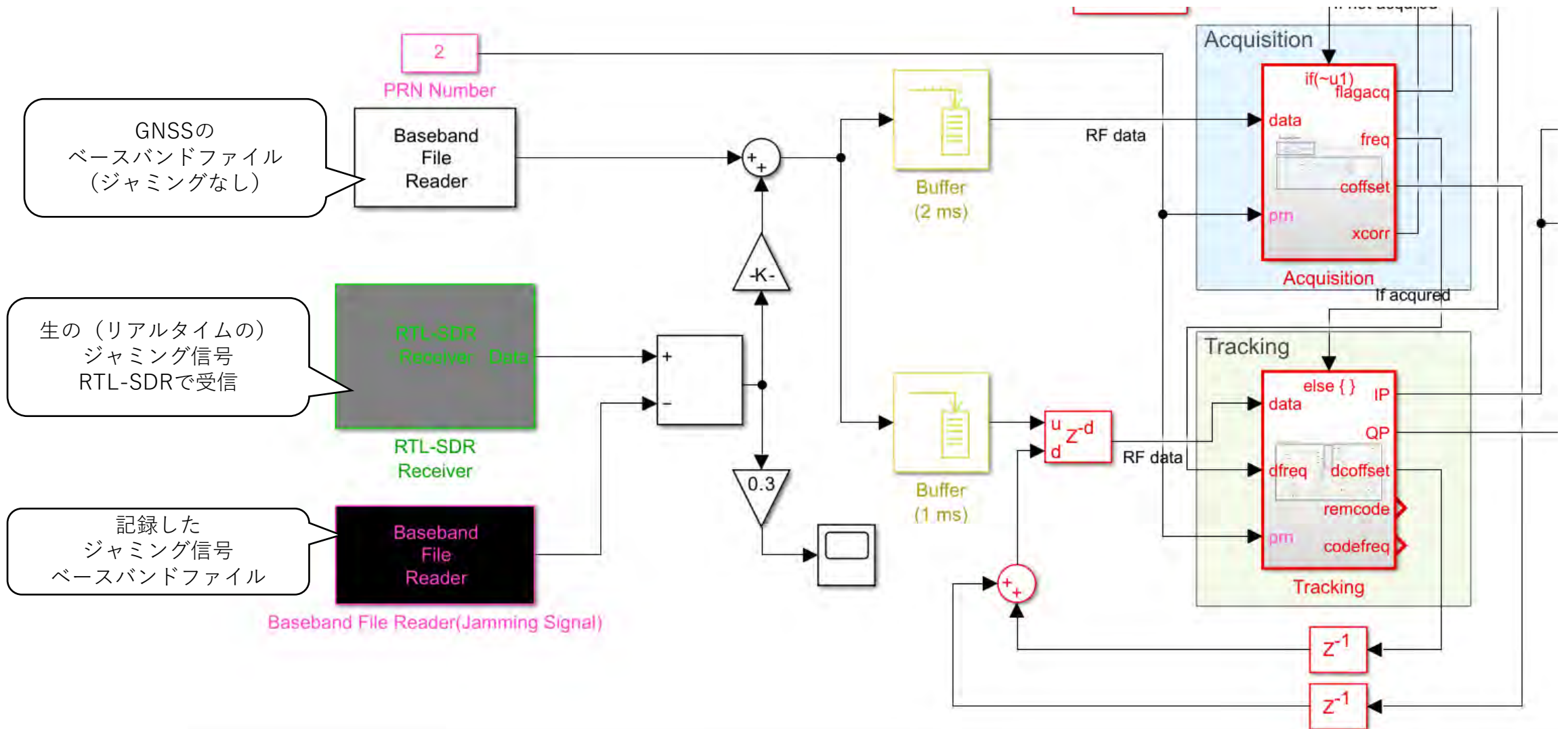


ジャミングは相殺されて出力はゼロ
Jamming is Zero

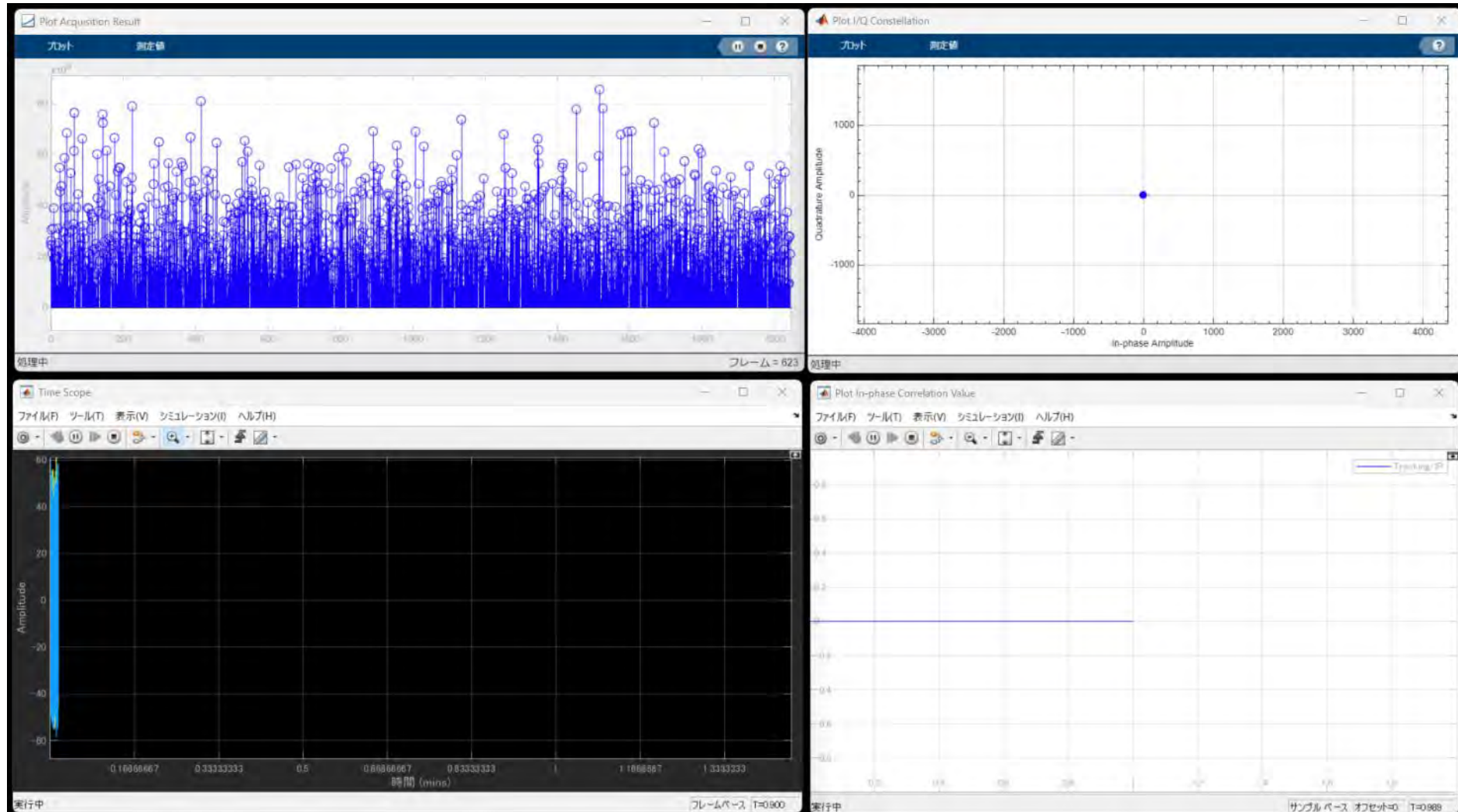


問題なく復調できる
Decode is OK

生のジャミング信号から別のジャミングを引き算する
 →位相が合えば相殺されるはずだという仮説を
 MATLAB (Simulink) 上で試す



結果は失敗：Concept failed
ジャミング信号は相殺されない





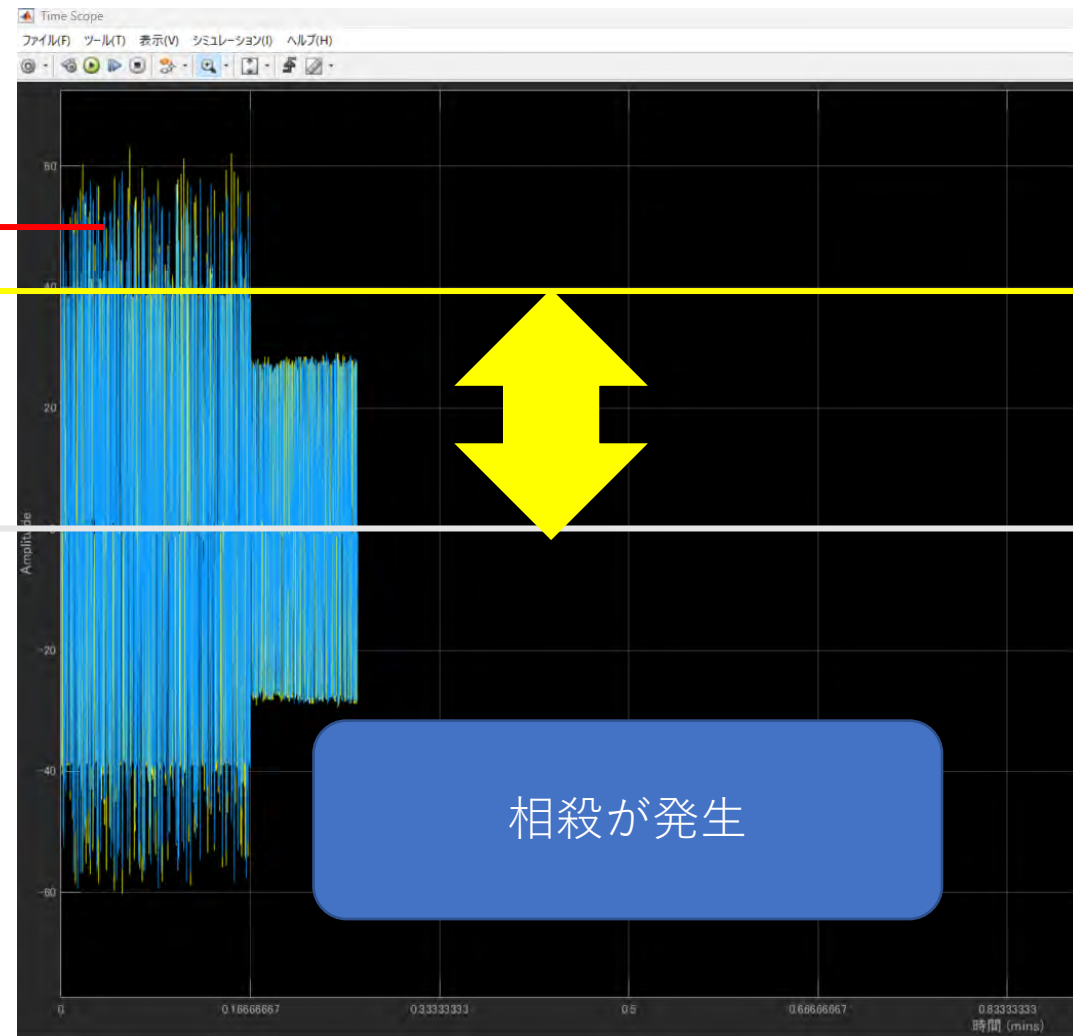
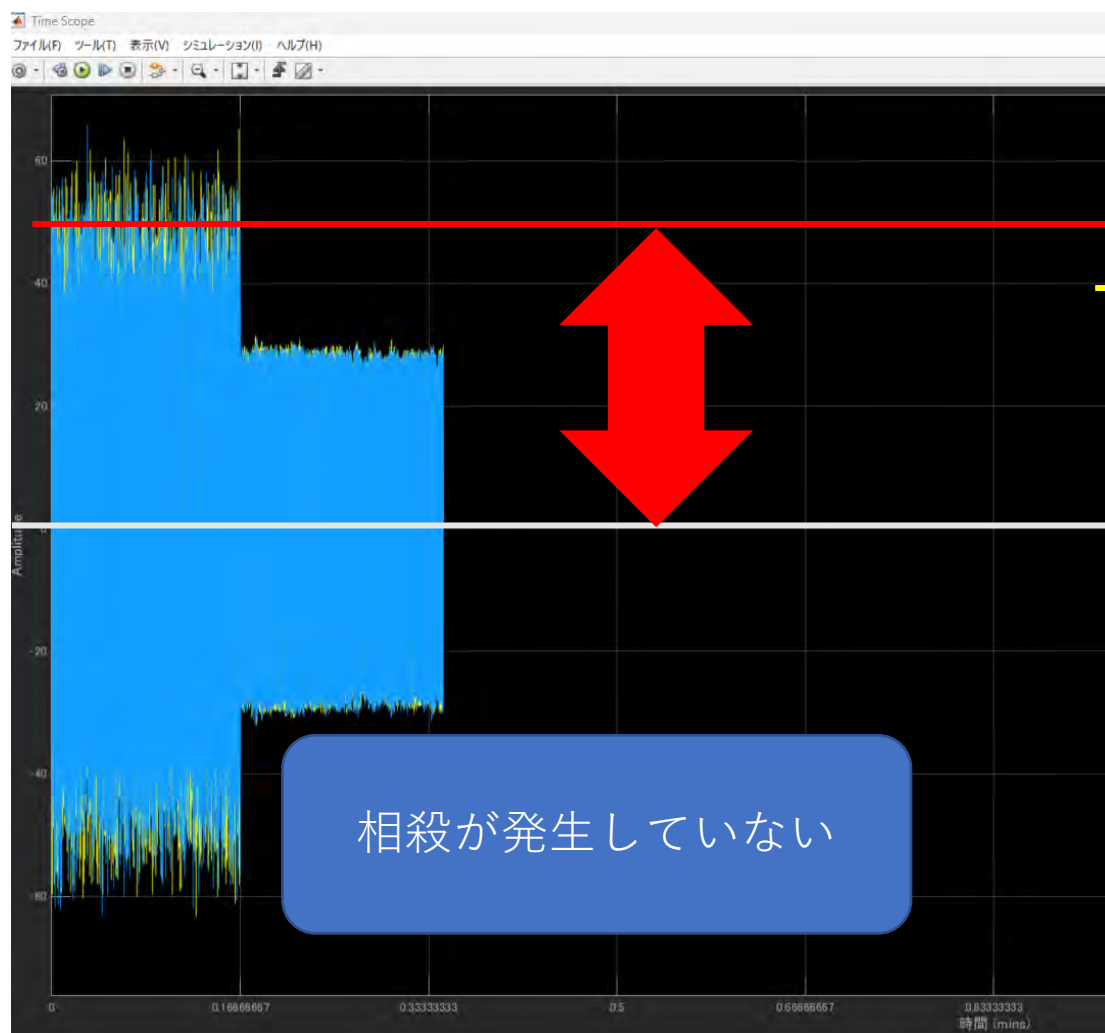
Mixing continue 1 0 sec.

ジャミングファイルの再生が終了 (10秒間)

生ジャミングと記録ジャミングが合成された振幅

生ジャミングだけの振幅

複数回試す中で合成信号が弱まる 때가あった
タイミングがあえば相殺されジャミングが減衰される場合がある
(sometime offset is occurred by subtracting same jamming signal)



先行研究で信号特性が調査されている

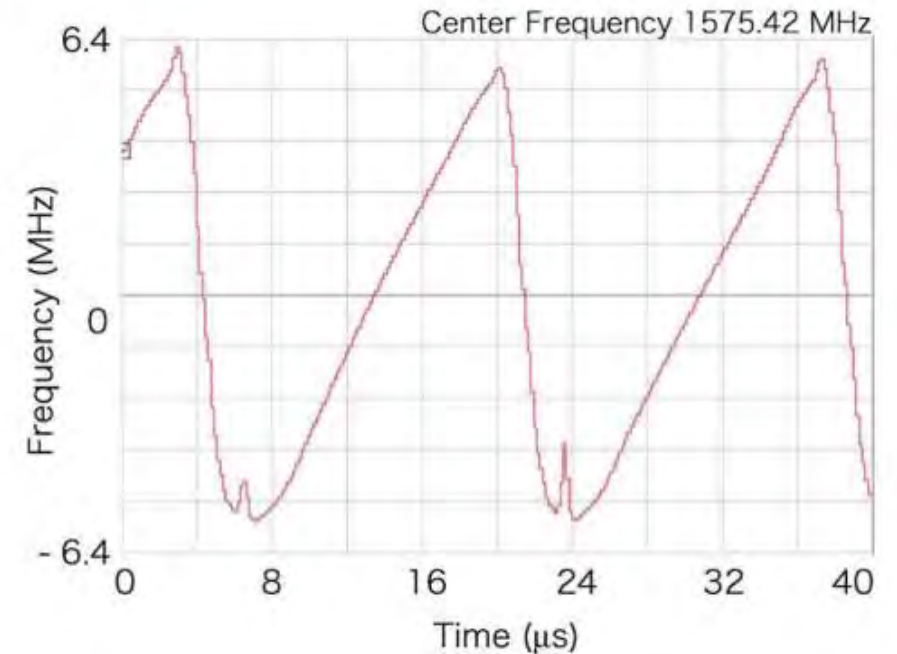
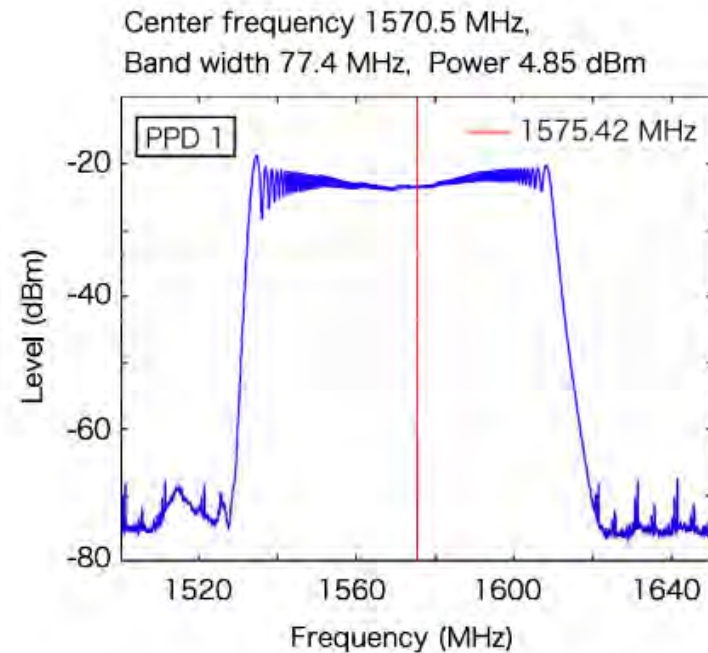
【測位航法学会論文誌 2015 Vol.6 No.1】

福島 荘之介, 齊藤 真二

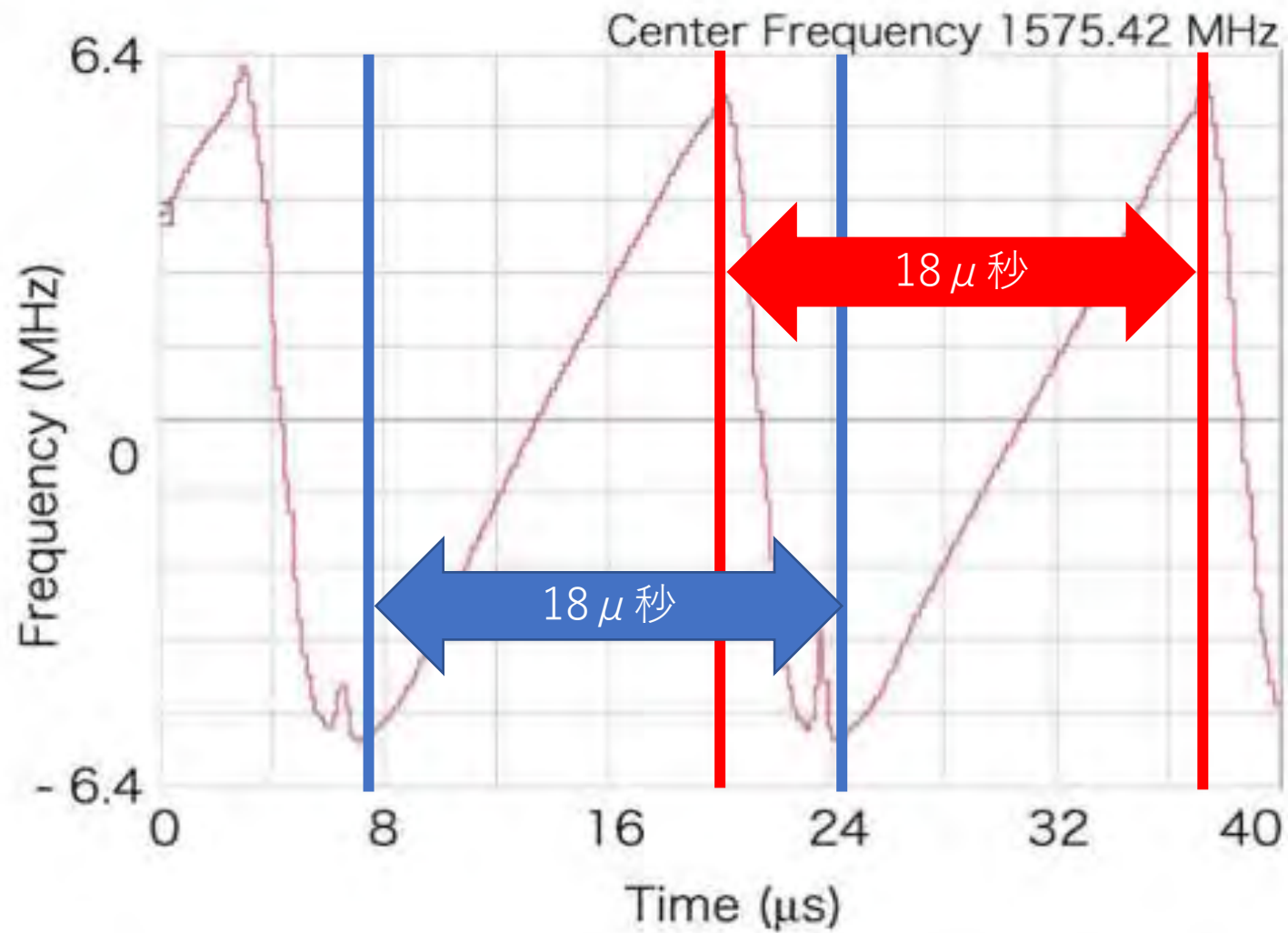
『PPD（個人用保護デバイス）の地上型衛星航法補強システムへの影響』



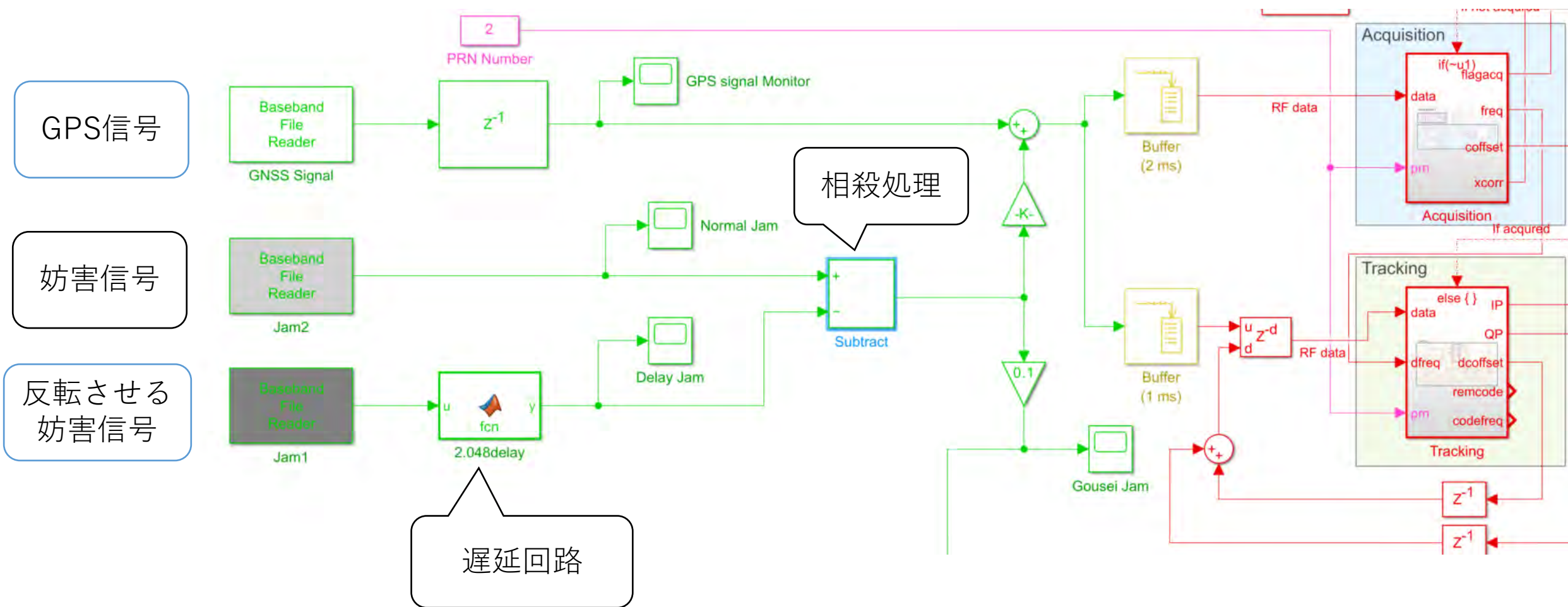
図1 試験されたPPDとグループ分け
Fig. 1 PPDs tested and grouping.



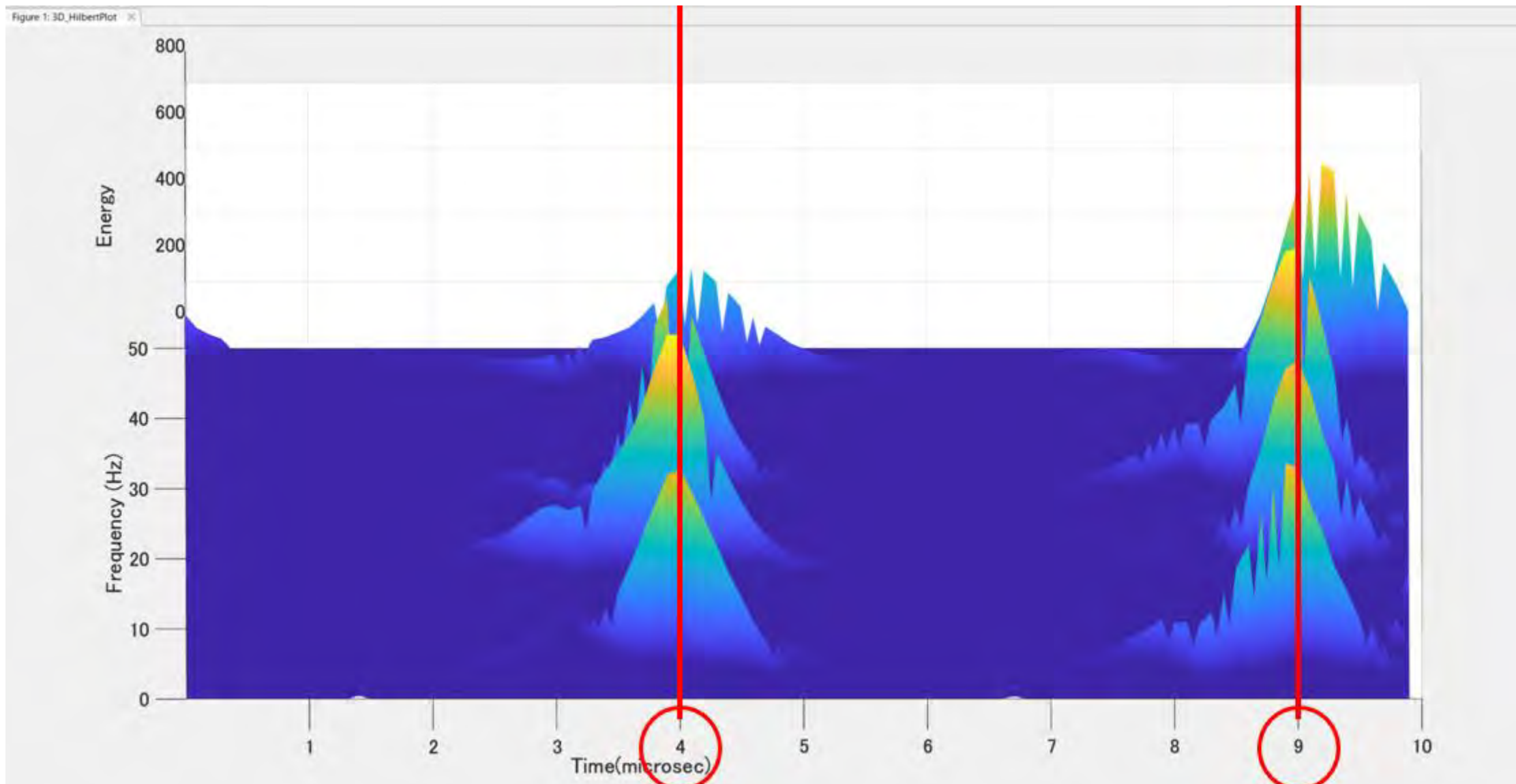
周期は $18\ \mu\text{秒}$

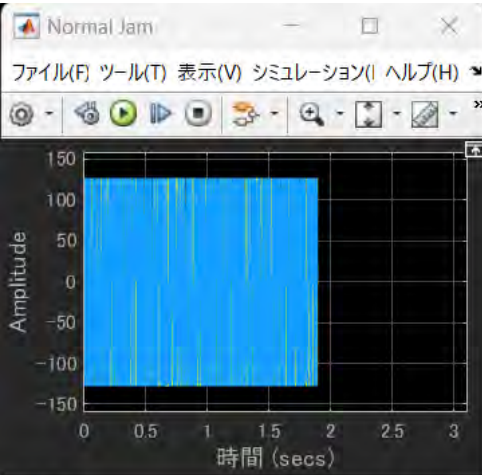


1 周期 (18 μ 秒) 遅延させても復調できず
 → 周期が18 μ 秒ではない可能性

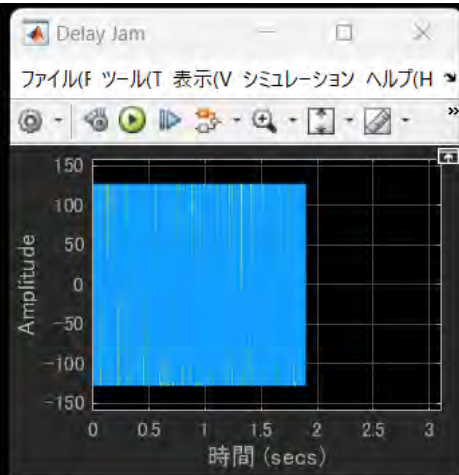


周期を可視化するヒルベルトトファン変換





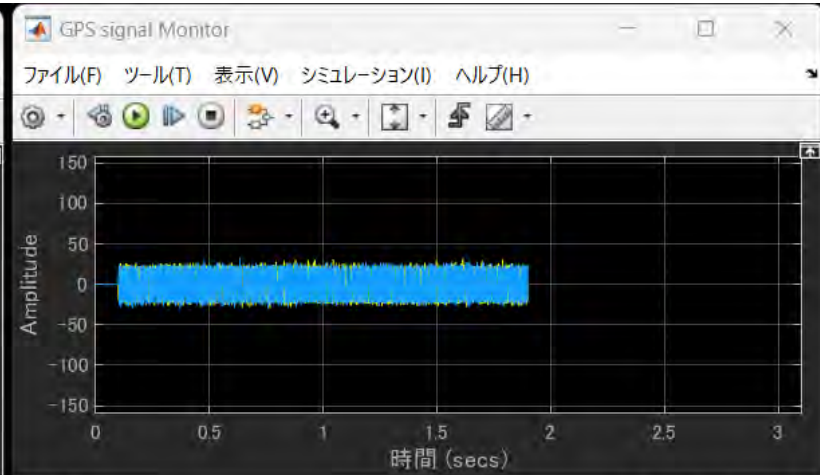
一時停止 フレームベース T=1.800



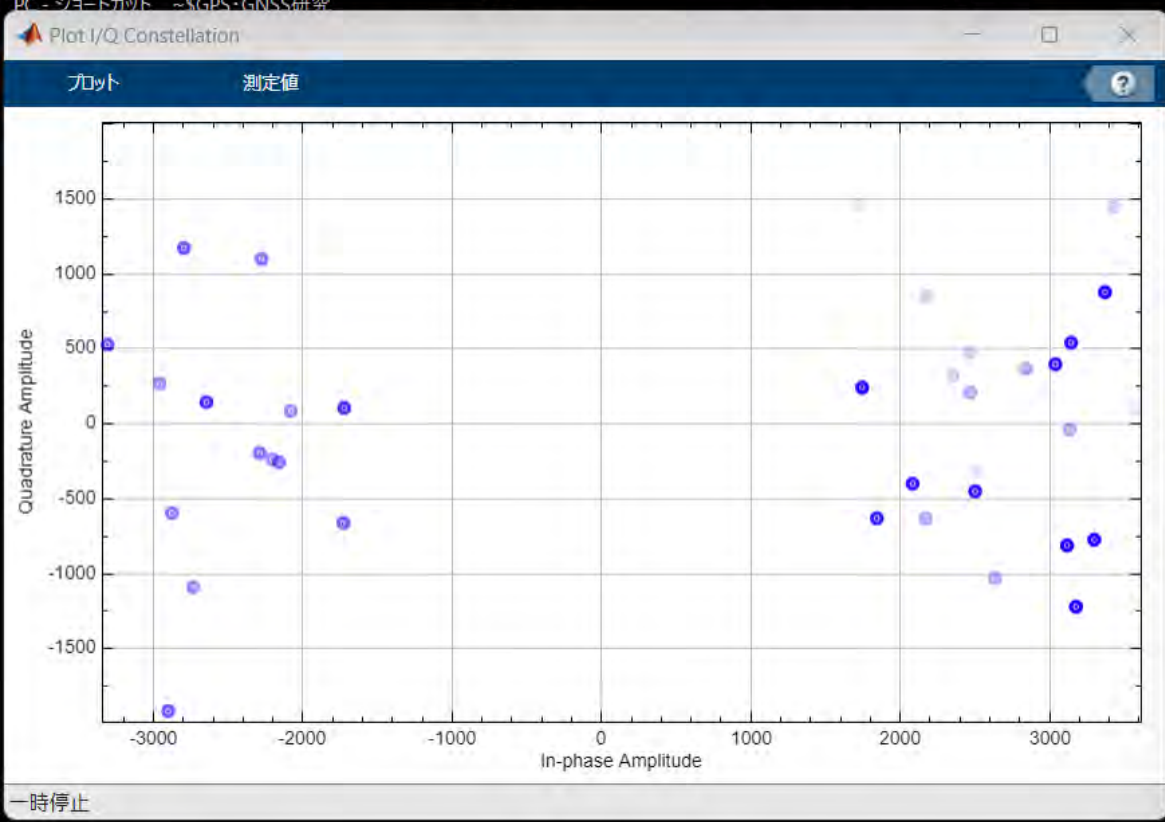
一時停止 フレームベース T=1.800



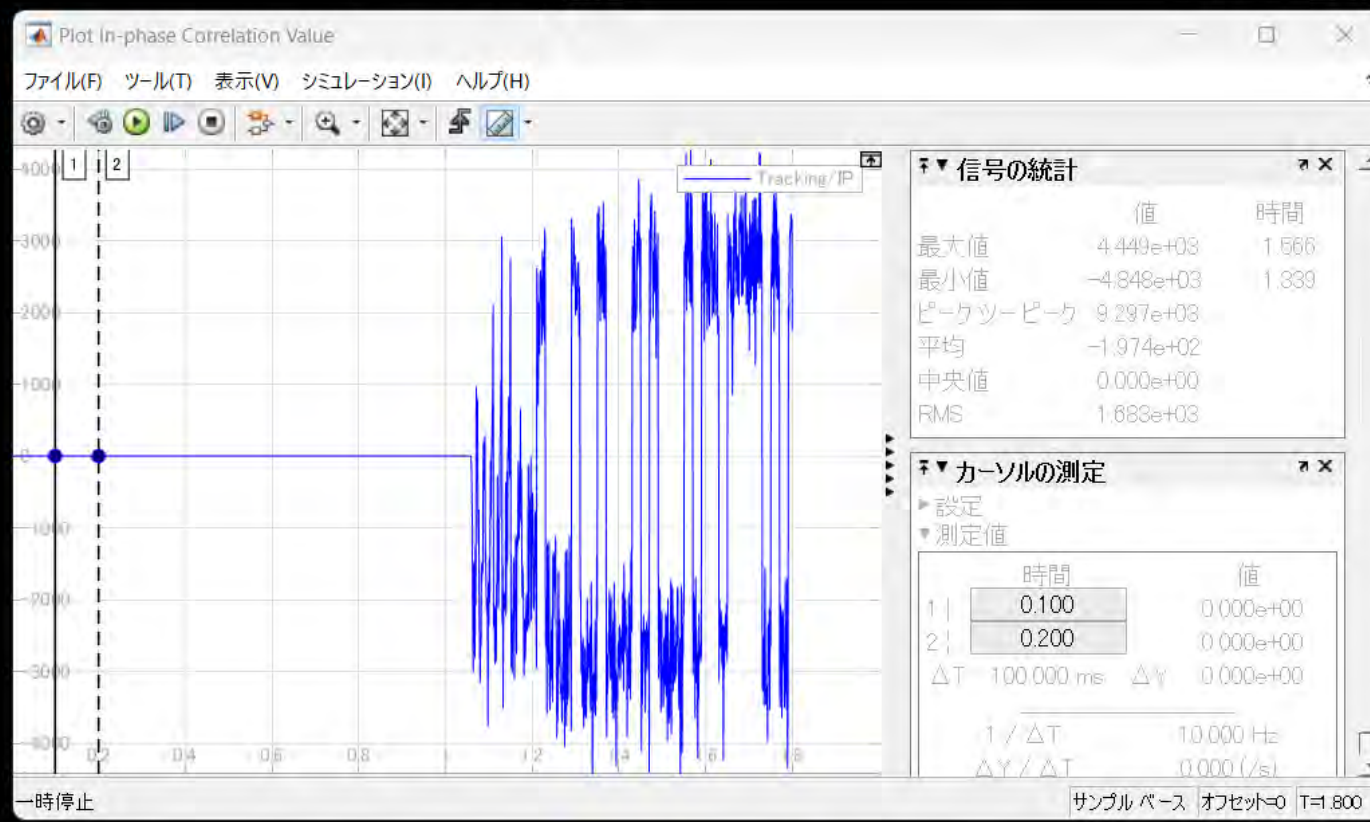
一時停止 フレームベース T=1.800



一時停止 フレームベース T=1.800



一時停止



一時停止 サンプルベース オフセット=0 T=1.800

信号の統計

	値	時間
最大値	-4.449e+03	1.566
最小値	-4.848e+03	1.339
ピークツーピーク	9.297e+03	
平均	-1.974e+02	
中央値	0.000e+00	
RMS	1.683e+03	

カーソルの測定

	時間	値
1	0.100	0.000e+00
2	0.200	0.000e+00
ΔT		100.000 ms
ΔY		0.000e+00
1 / ΔT		10.000 Hz
ΔY / ΔT		0.000 (/s)

まとめ

船用GNSS受信機が妨害信号により測定不可となることを確認

微弱電波以下の電力でスプーフィングされる機種もある

他の航海計器（ECDIS、ジャイロコンパス）への影響を確認した

軽減対策として、妨害波周期をSDRで把握しノイズキャンセルを試みた

課題：位相を把握し追尾して同期させる仕組みが必要