

# GNSSスプーフィング攻撃に対する GNSS/IMU複合航法システムの脆弱性分析

---

© Osaka Metropolitan University All Rights Reserved.

大阪公立大学 大学院  
工学研究科 航空宇宙工学分野  
衛星航法研究室  
八杉 尚樹

1. 研究背景・研究目標
2. 自動飛行マルチコプターに対するGNSSスプーフィング攻撃実験
3. 結果・考察
4. 結論・今後の研究の流れ

1. 研究背景・研究目標
2. 自動飛行マルチコプターに対するGNSSスプーフィング攻撃実験
3. 結果・考察
4. 結論・今後の研究の流れ

# 研究背景

## 位置情報サービス（LBS）市場の拡大

### ◆ 自動運転の実用化

#### 経済的影響

- 無人のラストワンマイルの実現（物流業）
- 移動型店舗による商圈拡大（小売り業）
- 移動データを使ったターゲティング（広告）
- 車内での決済需要の拡大（金融・決済）
- スマート農業の実現（農業）
- 無人パトカーの導入（行政）
- 空飛ぶクルマの開発（運航）

など

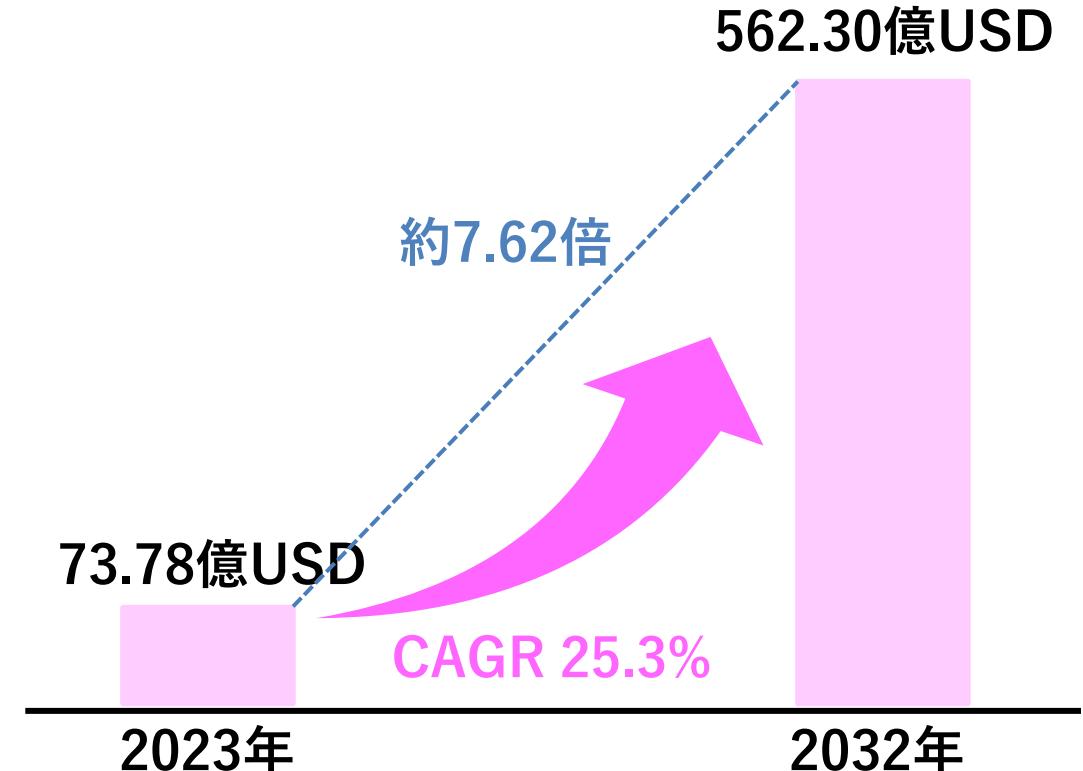


Fig. LBSの市場予測 ([1]に基づいて作成)

自己位置推定の技術を支える安定性と信頼性の高いGNSS測位への要求が高まる！

## GNSSスプーフィング攻撃

- 実信号を模倣した偽信号
- 実際と異なる位置情報を算出

⇒ GNSS測位にとって、脅威になっている。

### 世界中で

- テスラ車両のスプーフィング攻撃に対する脆弱性の報告
- ウクライナ戦争でスプーフィング攻撃が行われたという報告

### 他にも

- 自己制御機能を失うことによる事故
- 出荷された貨物の誤誘導や窃盗
- 通信会社や金融市場の混乱などの懸念

よって、GNSSスプーフィング攻撃の対策が急務となっている。

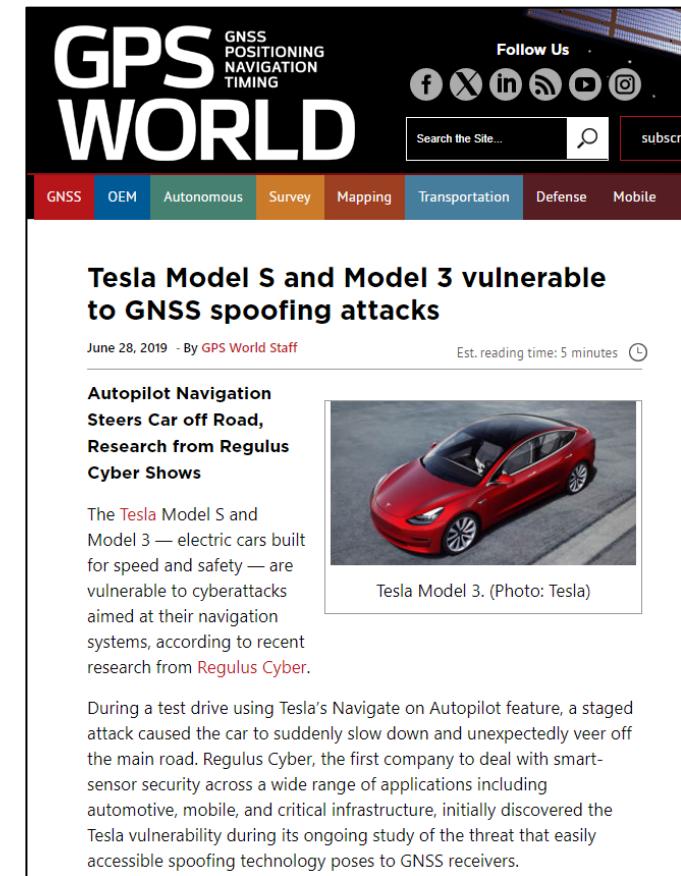


Fig. テスラ車両、スプーフィング脆弱性の記事 [2]

[2]Tesla Model S and Model 3 vulnerable to GNSS spoofing attacks.

## 研究目標:「GNSSスプーフィング攻撃の影響を受けない測位システムの開発」

### ① 正常の状態

- GNSS/IMU複合航法
- 相対測位 など

### ② GNSSスプーフィング攻撃の検知

- 信号強度の監視による検知
- IMU, 画像情報を利用した検知

### ③ スプーフィングを受けている状態

- 画像航法
- IMU/画像複合航法 など



GNSSスプーフィング攻撃を検知し、GNSSを利用しない航法システムに測位方式を変更する。

1. 研究背景・研究目標
2. 自動飛行マルチコプターに対するGNSSスプーフィング攻撃実験
3. 結果・考察
4. 結論・今後の研究の流れ

# 実験目的

## 自動飛行マルチコプターに対するGNSSスプーフィング攻撃実験

日付：2024年6月21日

場所：福島ロボットテストフィールド

目的：GNSSスプーフィングを受けないシステムの評価用データ取得のため  
：自動移動体へのスプーフィングの影響の検証

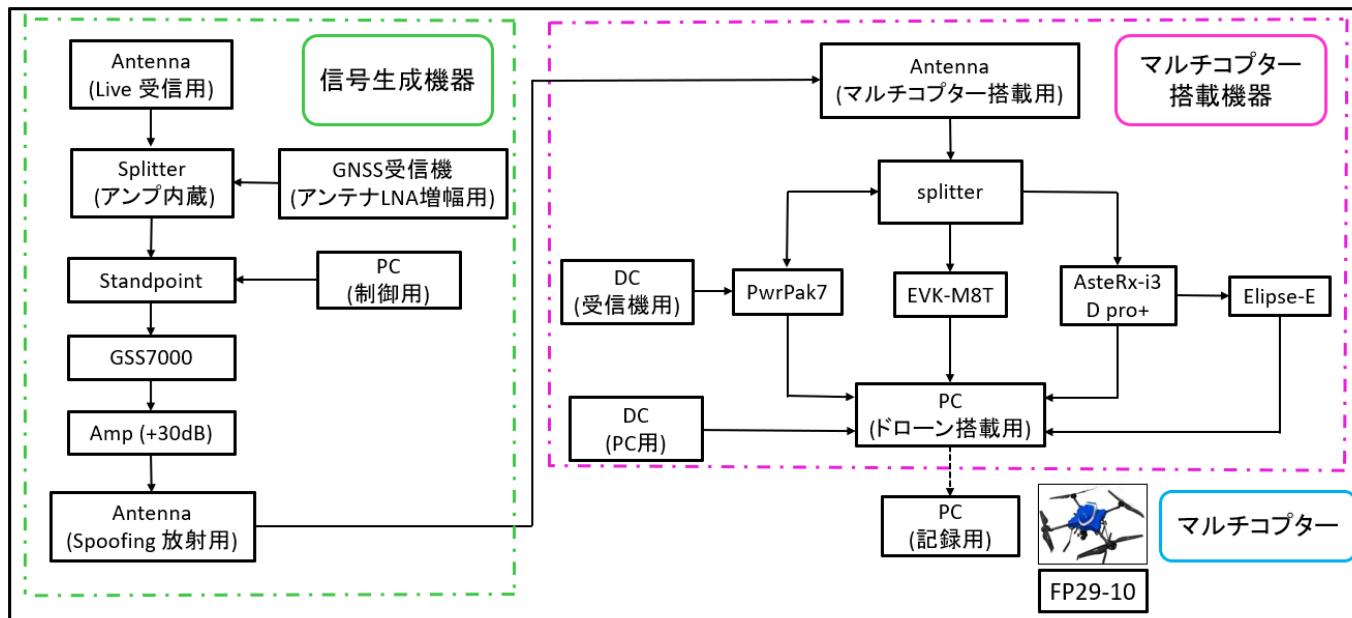


Fig. 機器構成



Fig. 実験状況

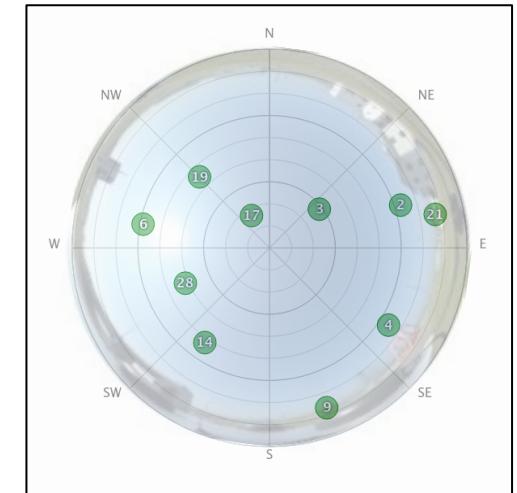


Fig. スカイプロット (GPSのみ)

# 実験内容

ホバリング状態の自動飛行体にスプーフィング攻撃が行われた状況を想定。

Table. 実験手順

手順	計測	マルチコプター	Spoofing
1	記録の開始		
2		ホームポイントから離陸	
3		ホバリングポイントに移動	
4		自動運転モードでホバリングを指示	時刻同期のコンフィグレーション開始
5			スプーフィングの開始
6			移動シナリオの開始
7			スプーフィングの終了
8		ウェイポイントに帰還	
9	記録の終了	着陸・停止	

※ ホバリングポイントの位置

緯度 (deg), 経度 (deg), 対地高度 (m) = (37.6308212, 141.0145355, 5.0)

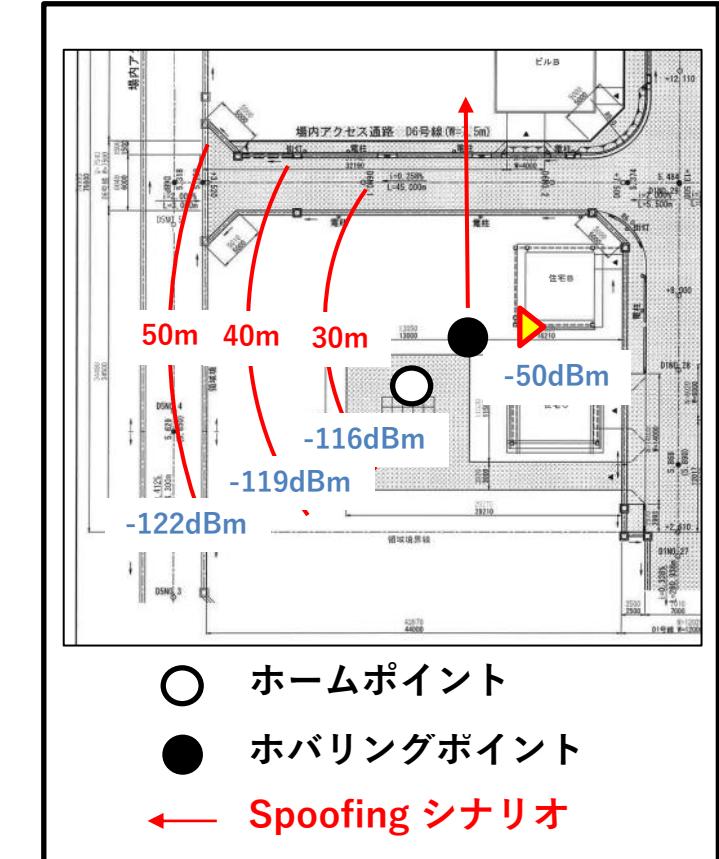


Fig. 実験内容

# Spoofingシナリオ

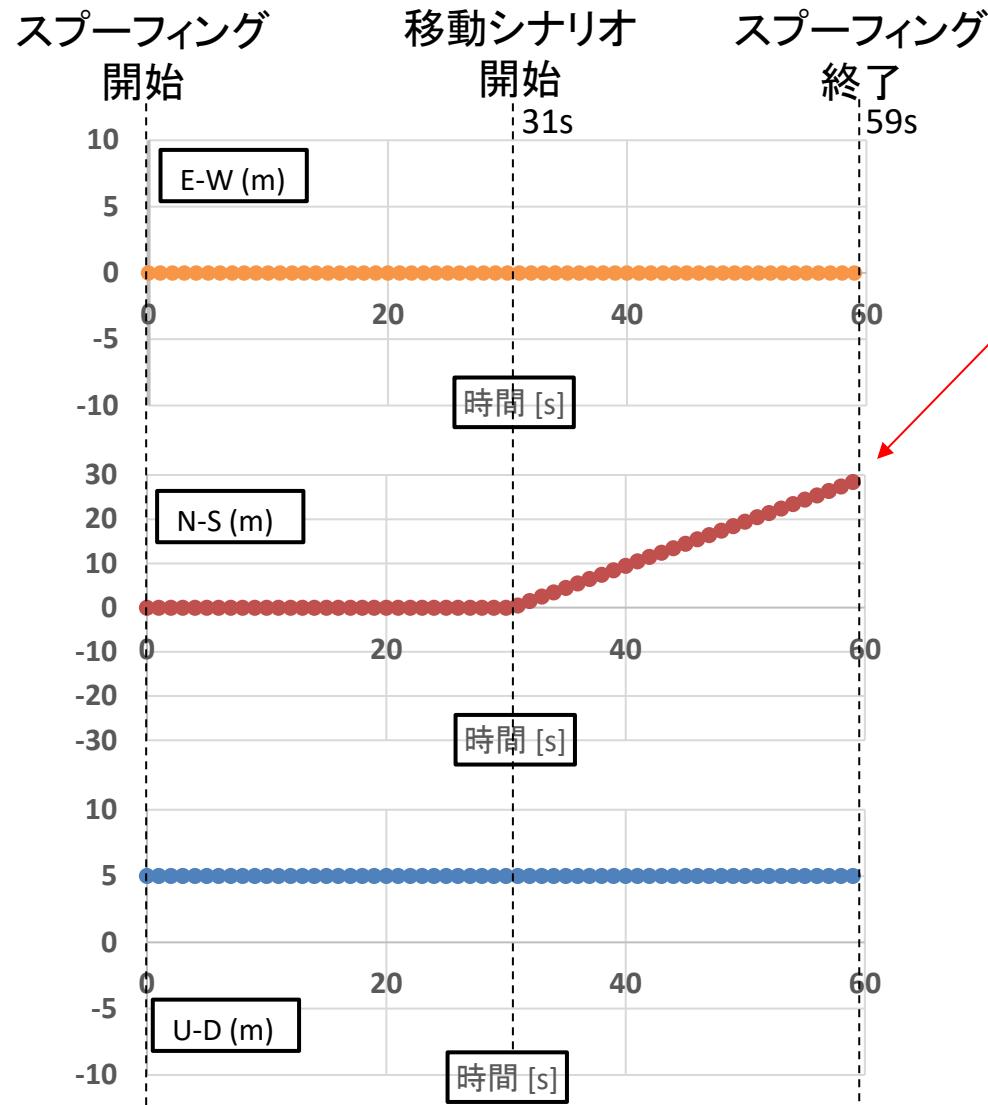


Fig. モーションシナリオ

1メートル毎秒で北上するシナリオ。

	時刻 (GPST)	時刻 (JST)	線の種類
スプーフィング 開始	01:58:36	10:58:18	黒点線 ---
モーションシナ リオ開始	01:59:07	10:58:49	赤点線 ---
スプーフィング 終了	01:59:35	10:59:17	黒線 —

Fig. シナリオ時刻

## ドローンに対するSpoofing実験 @福島RTF

マルチコプターの  
運行用受信機が  
乗っ取られている  
ことを確認した。

動画撮影 & 編集：森貫喬（大阪公立大学）

1. 研究背景・研究目標
2. 自動飛行マルチコプターに対するGNSSスプーフィング攻撃実験
3. 結果・考察
4. 結論・今後の研究の流れ

# アウトプットの項目

0. 運行用受信機の測位解  
⇒ マルチコプターの制御の基となる位置情報を提供している  
アウトプットは得られず。  
と考えられる。

1. 運行用受信機とIMUの複合航法測位解

P13で示す。

2. EVK-M8T (u-blox) の測位解

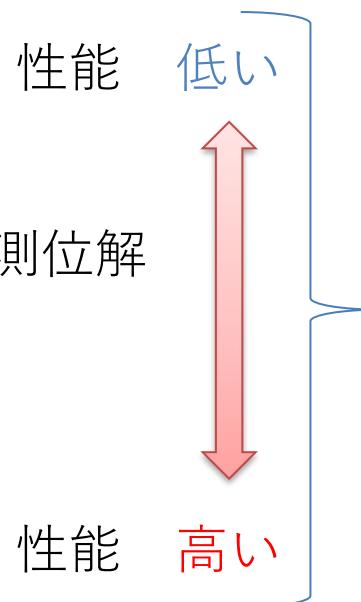
P14で示す。

3. AsteRx-i3 D Pro+ (Septentrio) の測位解

時間の都合上割愛します。

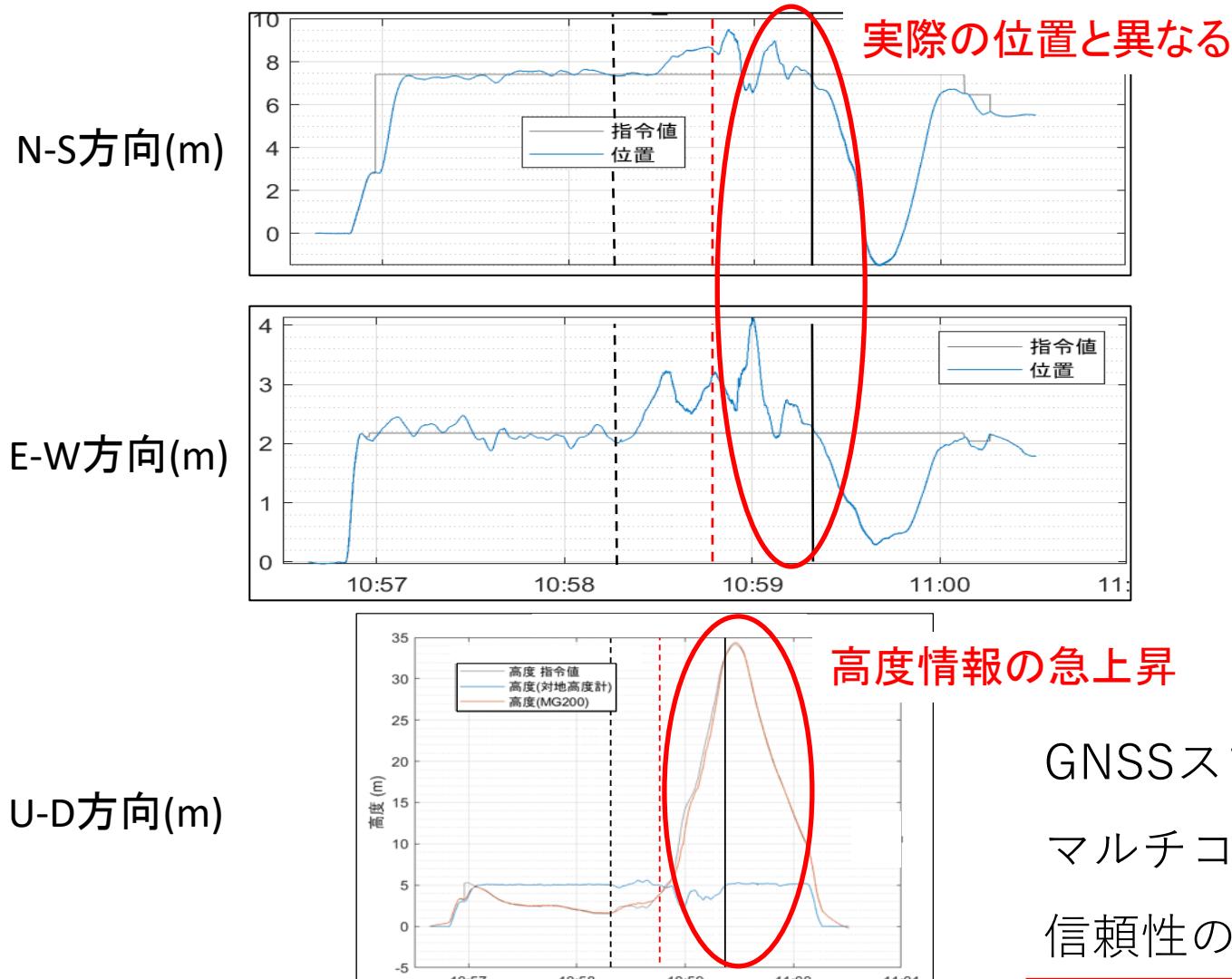
4. PwrPak7 (Novatel) の測位解

P15で示す。



マルチコプターに搭載して計測した、  
スプーフィングの評価用受信機の解析結果  
を示す。

# 1. 運行用受信機+IMUの出力結果



Figs. マルチコプターの測位解推移

	時刻 (JST)	線の種類
スプーフィング開始	10:58:18	黒点線 ---
モーションシナリオ開始	10:58:49	赤点線 - - -
スプーフィング終了	10:59:17	黒線 —

Fig. シナリオ時刻

GNSSスプーフィング攻撃を受け、マルチコプターの運行用受信機+IMUの複合航法解は、信頼性の高い航法システムを維持できていない。

## 2. EVK-M8Tの解析結果

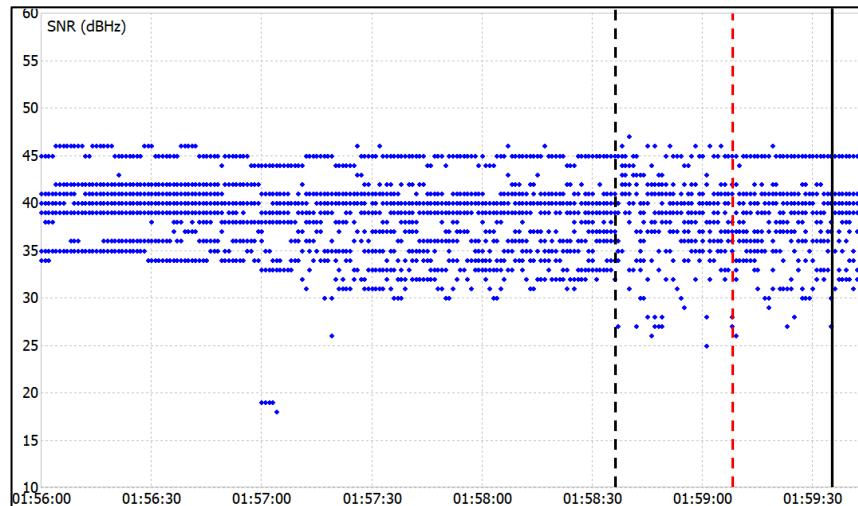


Fig. 信号強度推移 (EVK-M8T)

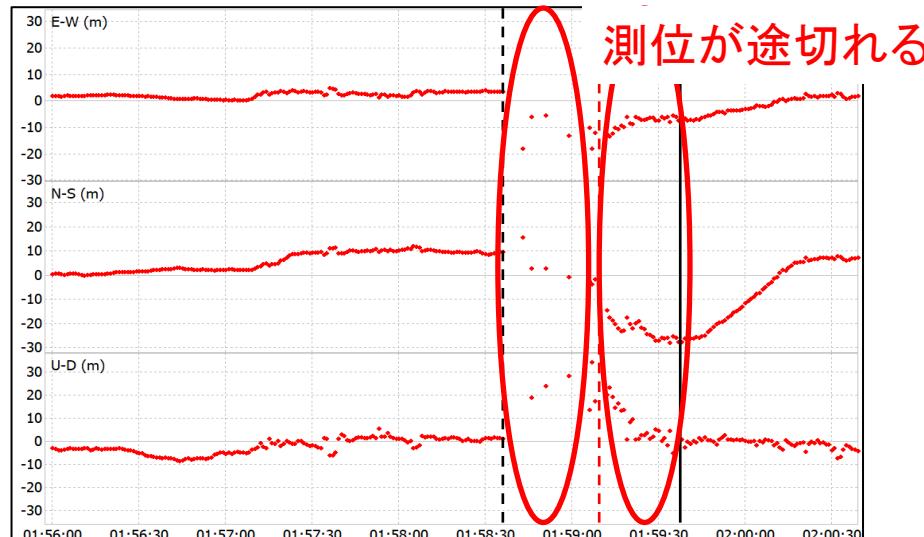


Fig. 測位解推移 (EVK-M8T)

	時刻 (GPST)	線の種類
スプーフィング開始	01:58:36	黒点線 ---
モーションシナリオ開始	01:59:07	赤点線 ----
スプーフィング終了	01:59:35	黒線 ——

Fig. シナリオ時刻

測位が途切れるJammingのような現象を観測

⇒ ノンコヒーレント攻撃 (=Jamming Likeな攻撃)

⇒ コヒーレント攻撃の再現失敗

- EVK-M8Tの信号捕捉、信号追尾能力は低い。
- EVK-M8Tへのスプーフィング攻撃は失敗した。

# 4. PwrPak7の解析結果

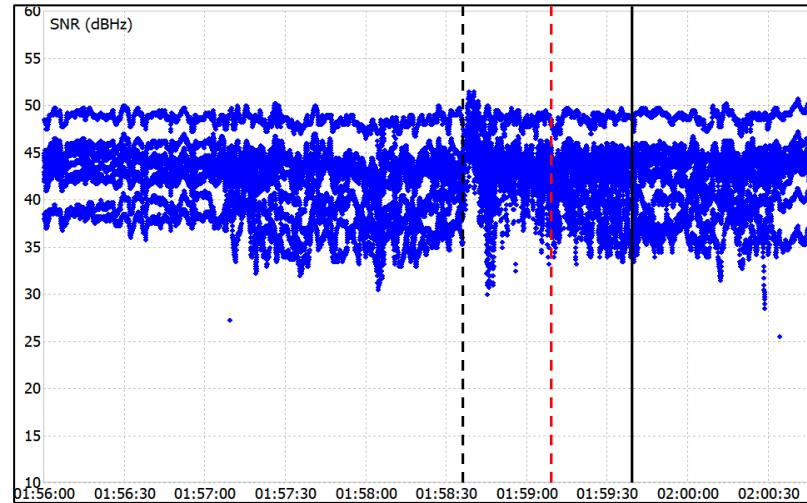


Fig. 信号強度推移 (PwrPak7)

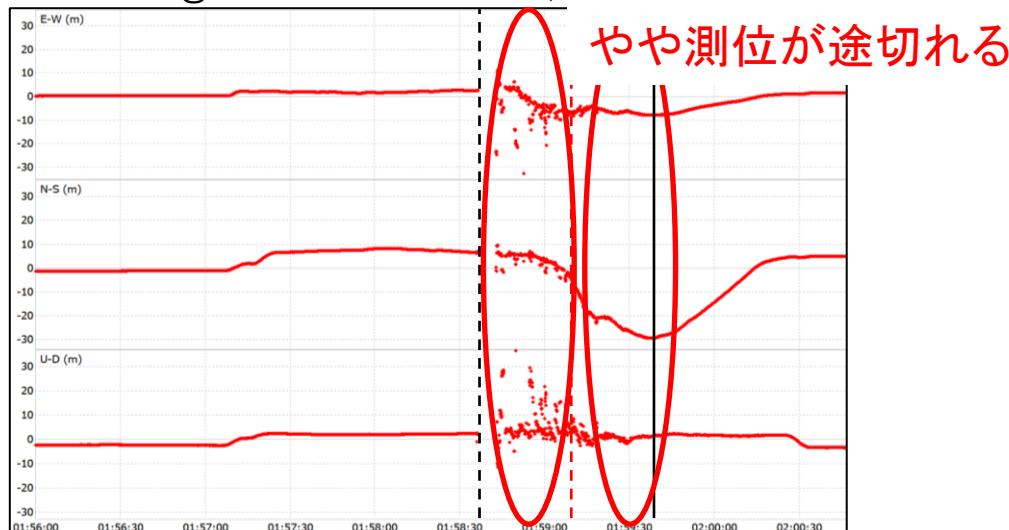


Fig. 測位解推移 (PwrPak7)

	時刻 (GPST)	線の種類
スプーフィング開始	01:58:36	黒点線 ---
モーションシナリオ開始	01:59:07	赤点線 - - -
スプーフィング終了	01:59:35	黒線 —

Fig. シナリオ時刻

- PwrPak7の信号捕捉、信号追尾能力は高い。
- PwrPak7へのスプーフィング攻撃は失敗した。

1. 研究背景・研究目標
2. 自動飛行マルチコプターに対するGNSSスプーフィング攻撃実験
3. 結果・考察
4. 結論・今後の研究の流れ

結論 スプーフィング評価用受信機へのスプーフィング攻撃（コヒーレント攻撃）は失敗した。

- 次の実験機会に備え、スプーフィング攻撃（コヒーレント攻撃）が成功する実験コンフィグレーションを検討する。
- 次の機会では、スプーフィング評価のための実験データの取得を目指す。

## 本実験で得られた知見

- スプーフィングで測位を乗っ取られたGNSS受信機に、通常の複合方式でIMUを複合しても信頼性の高い測位システムを取り戻せない。
- GNSSスプーフィング攻撃を受ける状況で、
  - 自動飛行マルチコプターの運動について、現象の確認ができた。
  - 測位が乗っ取られる受信機と乗っ取られない受信機の違いが確認された。

# 今後の研究の流れ

## 現状

- ・ スプーフィングで測位を乗っ取られたGNSS受信機に、通常の複合方式でIMUを複合しても信頼性の高い測位システムを取り戻せない。
- ・ システムの評価用データの取得ができていない。

## 研究目標

“GNSSスプーフィングの影響を受けない測位システムの開発”  
GNSSスプーフィング攻撃を検知し、  
GNSSを利用しない航法システムに測位方式に変更する。

## 課題

1. スプーフィング検知手法の確立
2. GNSSを利用しない測位システムの開発
3. システム評価のための実験データの取得

本Spoofing Testは、  
測位航法学会「Jamming/Spoofing勉強会」参加各機関の協力のもと  
行われました。

Team Spoofing Test@福島RTF June 2024 by IPNTJ

ご清聴ありがとうございました。