

# 固定翼無人機の 広域位置探知実験の結果について

監視通信領域 古賀 禎  
航空交通管理領域 虎谷 大地、佐藤 岳

令和6年度  
第24回研究発表会  
令和6年6月7日

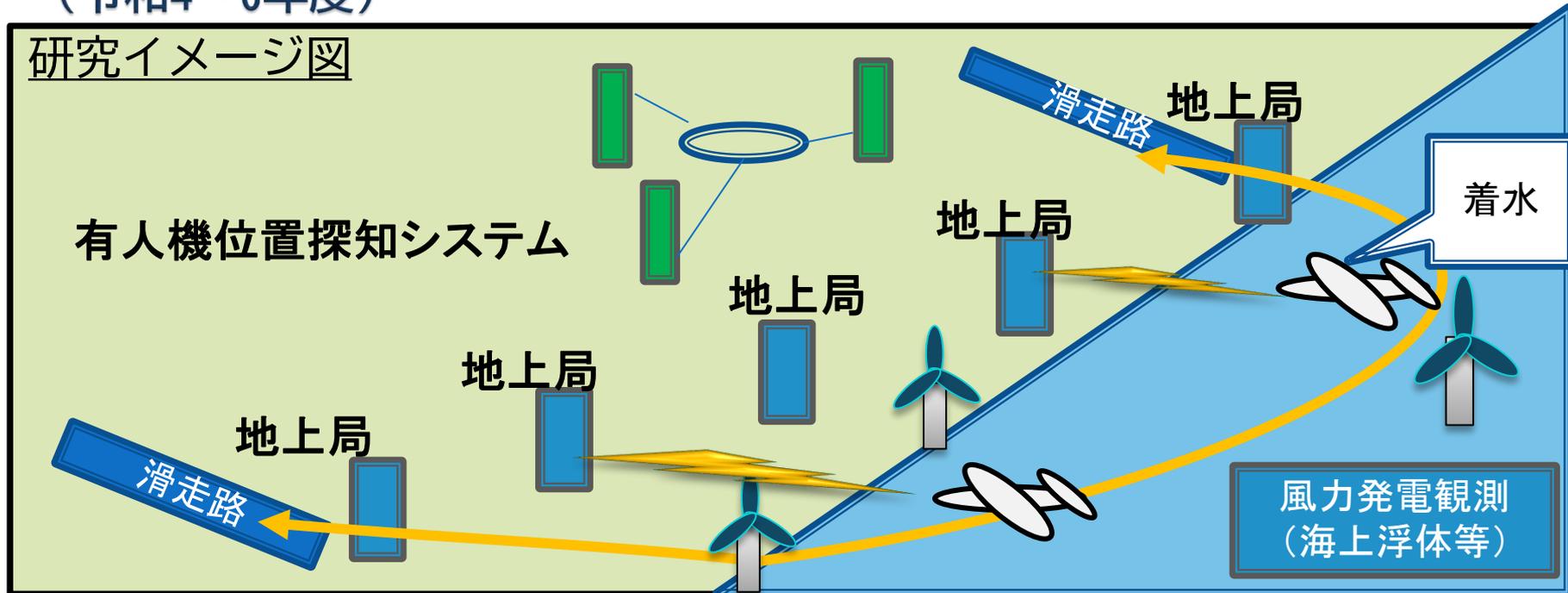
# 発表内容

1. 研究背景
2. 実験システム
3. 性能解析
4. まとめ

# 1. 研究背景

固定翼無人機による海上・沿岸の自動監視観測に関する技術開発  
(令和4～6年度)

研究イメージ図

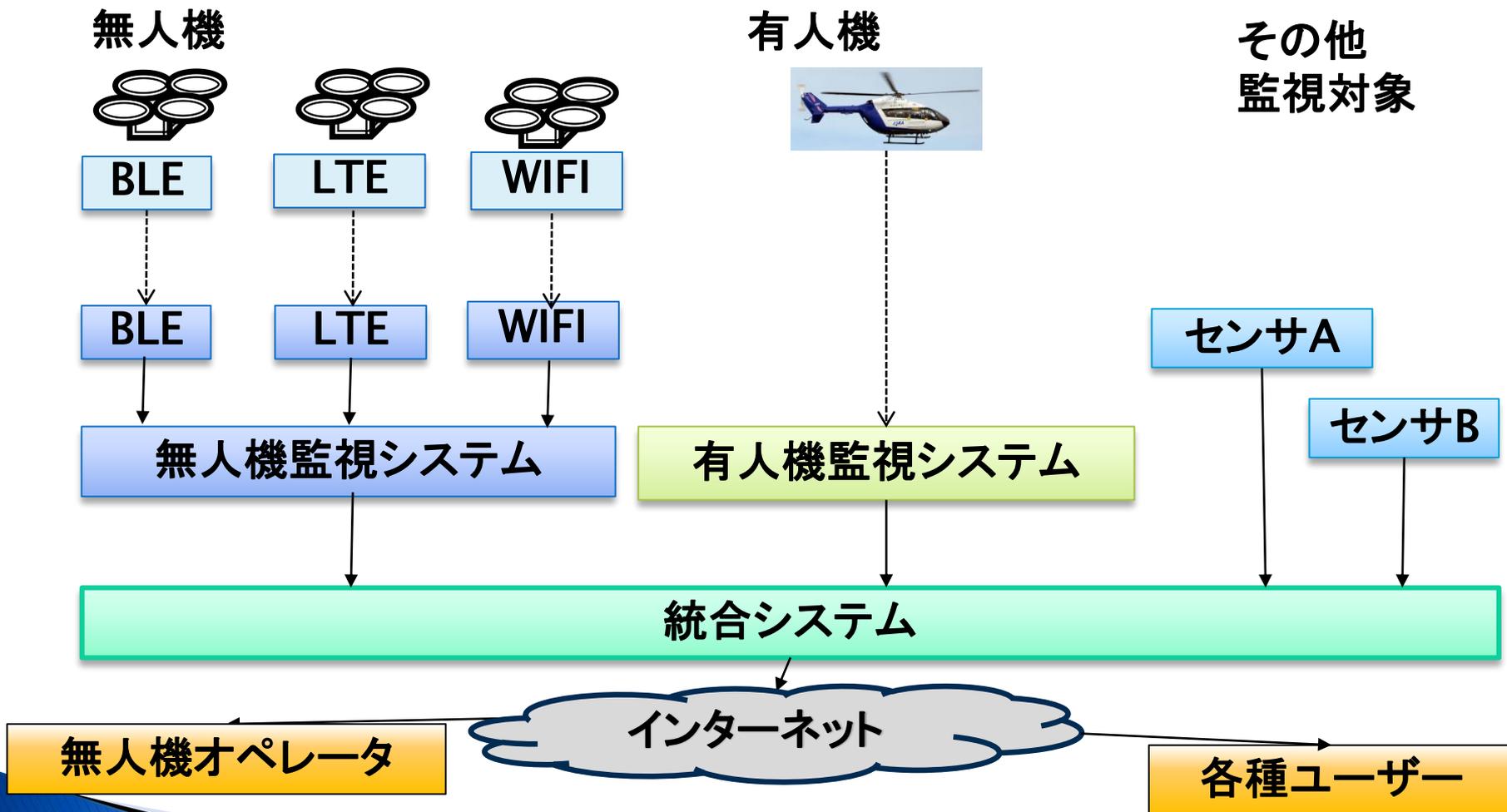


## 目的

- ・無人機の海上・沿岸域における目視外の完全自動運航を支援するシステムを構築し、海上・沿岸の風力発電施設等の自動監視の実現に資する技術を開発
- ・無線システムを利用した無人機の動態を常時管理するシステムを構築
- ・有人機の情報や周辺状況情報に基づき無人機の安全な運航を実現する機能を実装
- ・福島ロボットテストフィールドを中核としたエリアに展開し、実環境下における実証実験を行うことで、実用性の高い技術の確立を目指す

# 2. 実験システム

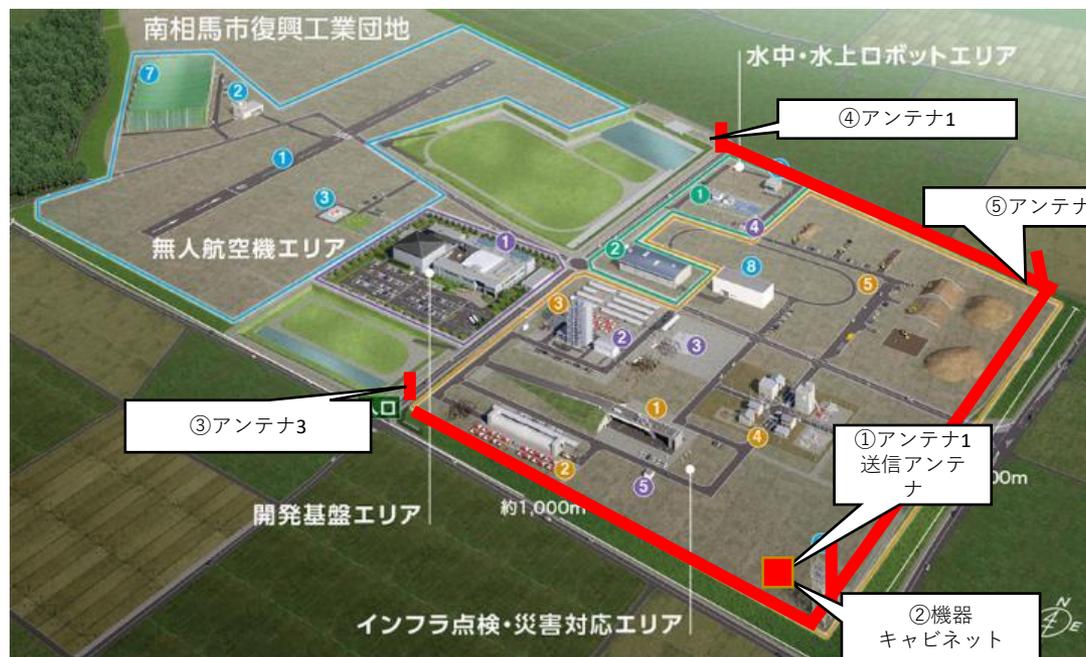
## 統合システムの構成



海上・沿岸域における目視外の完全自動運航支援を目標

# 有人機監視システム

- ▶ 福島ロボットテストフィールド(南相馬市)に設置
- ▶ ADS-B,マルチラレーション技術により有人機を監視
- ▶ 低高度域を監視

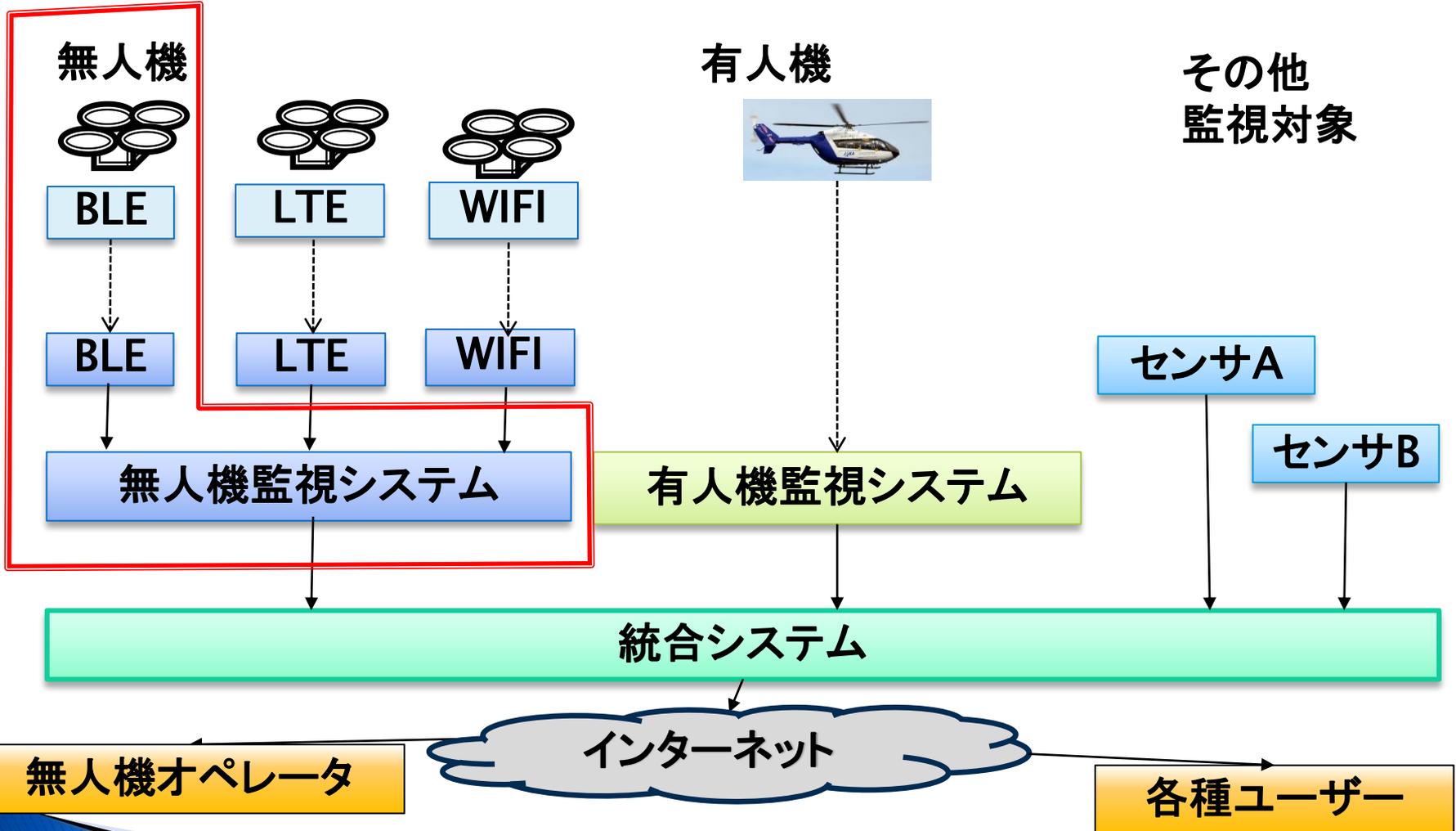


## 有人機監視システムの配置

引用: 図、福島ロボットテストフィールドHPより

# 2. 実験システム

## 統合システムの構成



- ▶ 無人機の監視システム
- ▶ 福島ロボットテストフィールドに設置した有人機監視システム

# BluetoothRiDによる実験システム

## 実験システムの構成

①RiD送信機



③固定翼無人機



# ①RID送信機

国土交通省リモート ID 技術規格書(米国ASTM F3411-19準拠)

⇒ 令和4年6月から搭載義務化

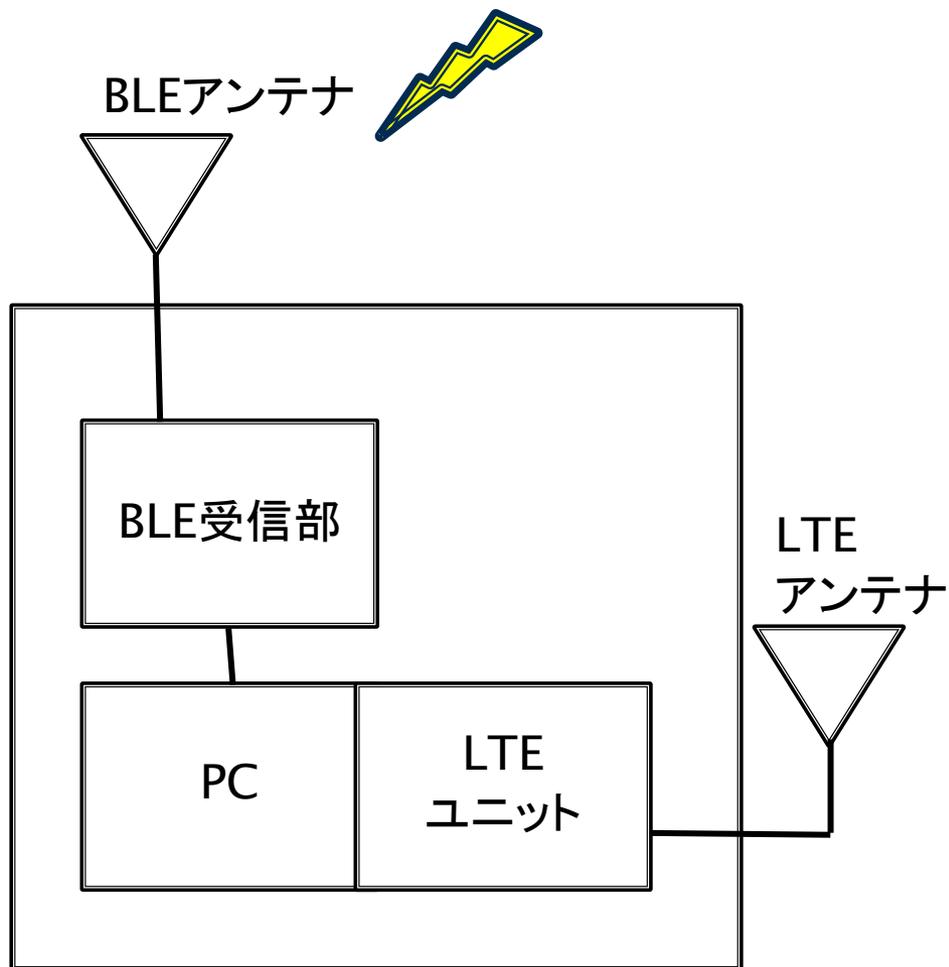
- ◆ Bluetooth Low Energy(BLE)
- ◆ Wi-Fi Aware/Beacon
- ◆ LTE

## Bluetooth Low Energy (BLE) 5

- BLE5 Long Range(coded phy S=8)を採用
- は伝送速度が125kbpsと標準の1/8の速度
- 誤り訂正能力の強化等より標準の約4倍の伝送距離
- BLEの広域運航管理に利用するため
  - ①性能の明確化
  - ②ロングレンジ化
  - ③ネットワーク化



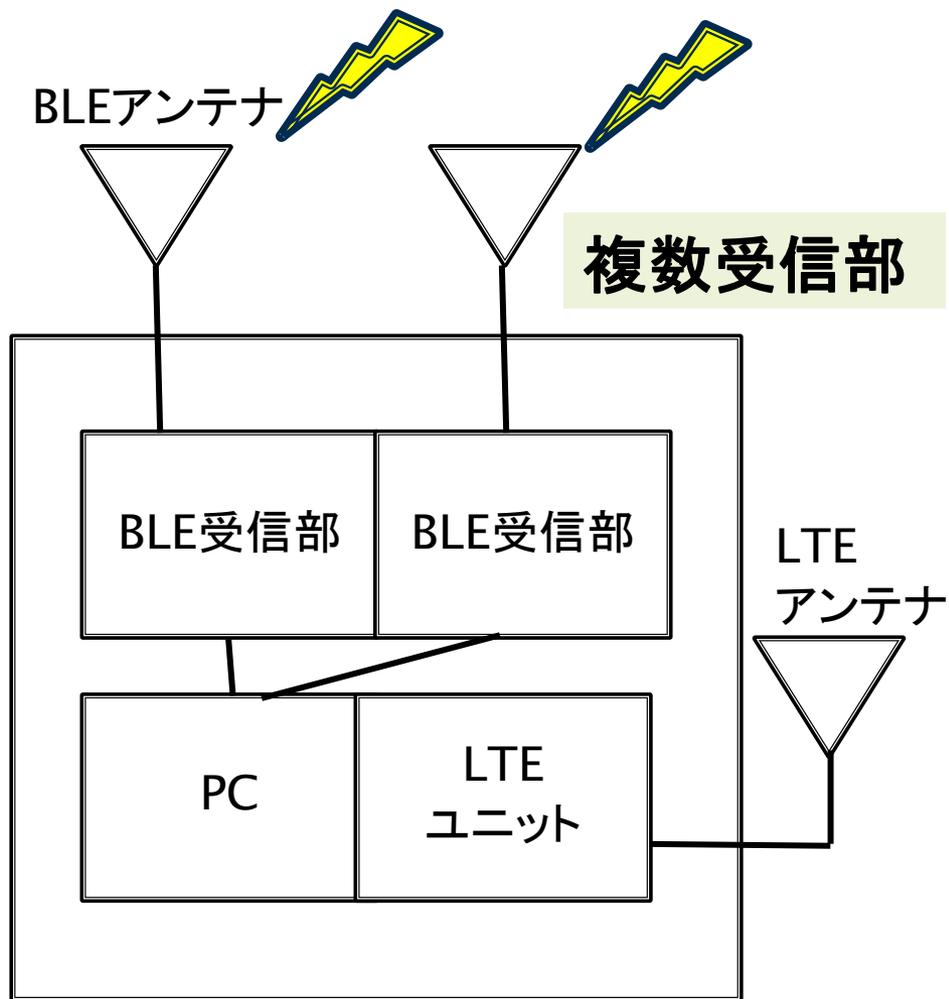
## ②地上受信局



外観

BLE受信機から信号を受信し、クラウドサーバーに転送

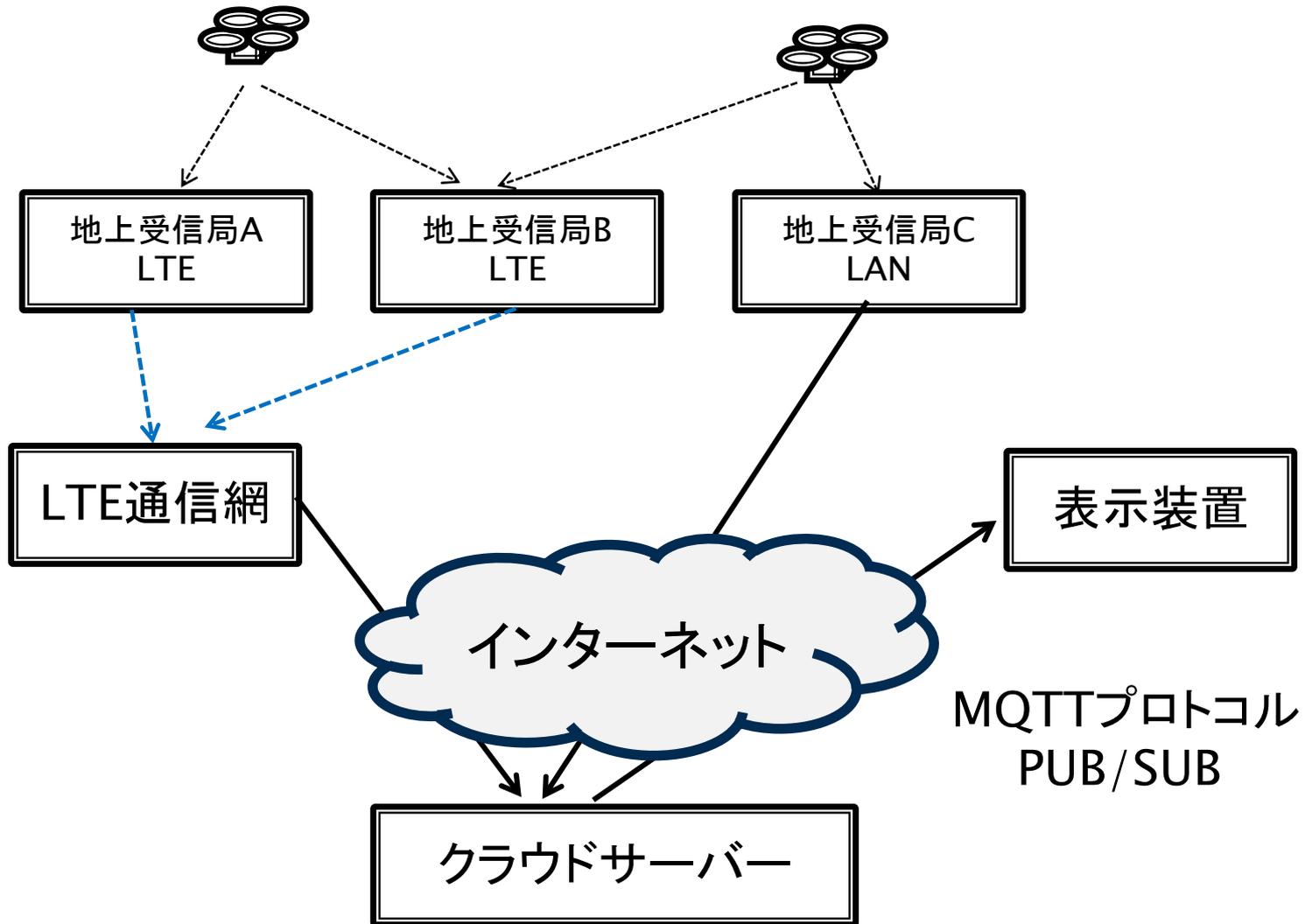
## ②地上受信局



外観

BLE受信機から信号を受信し、クラウドサーバーに転送

## ②地上受信局



広域監視のための複数の地上受信局を用いてネットワーク化

## ②地上受信局

### 実験における地上受信局の配置

監視領域

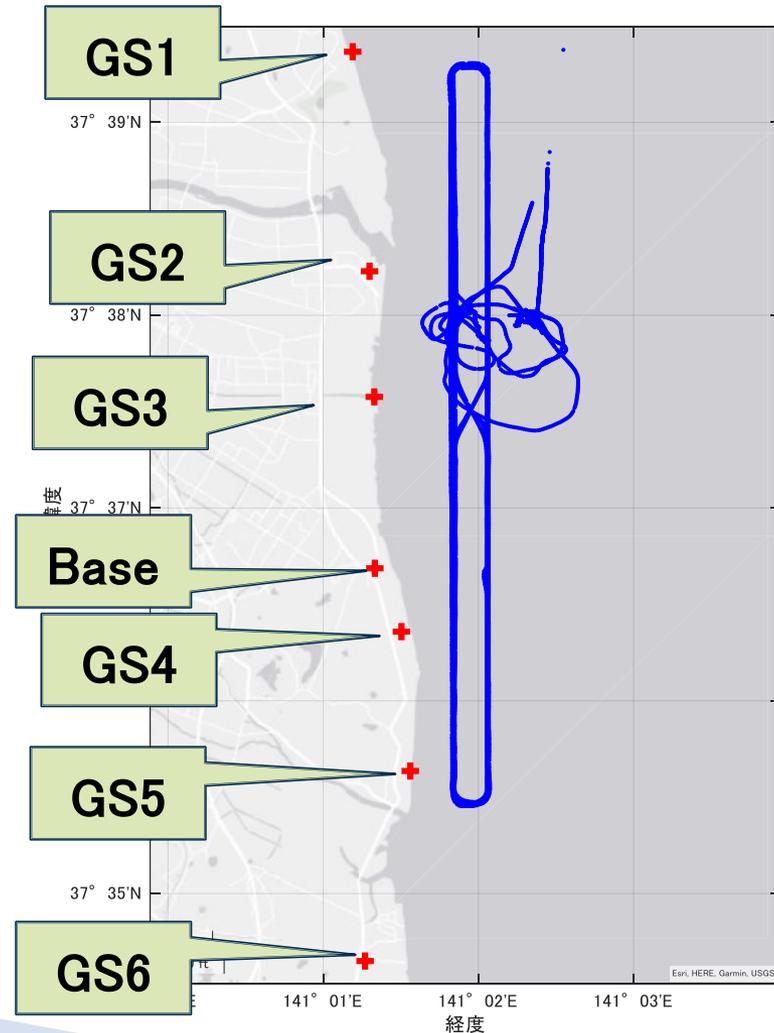
南北7km

東西0.5km

高度40-149m

地上受信局:6局

アンテナ:3種11個



## ③固定翼無人機



SPACE ENTERTAINMENT LABORATORY

「HAMADORI 3000」とは、航続時間2時間、運用範囲20km、  
時速65kmの翼幅3mの中型飛行艇型ドローン。  
船舶での運搬可能なので、現地へ運搬後に運用するのが最適。

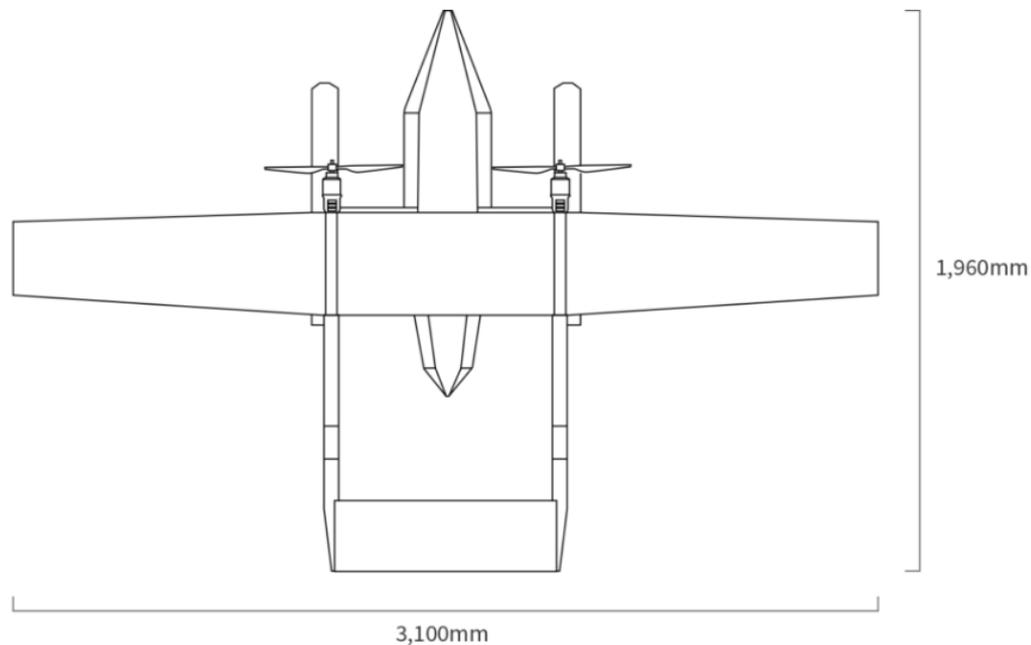


飛行艇型が可能にする飛行と水上航行で、  
高い機動性と運用性能を実現  
(完全自律制御・全天候対応)

(URL) <https://www.selab.jp/> 13

# ③固定翼無人機

## 機体スペック



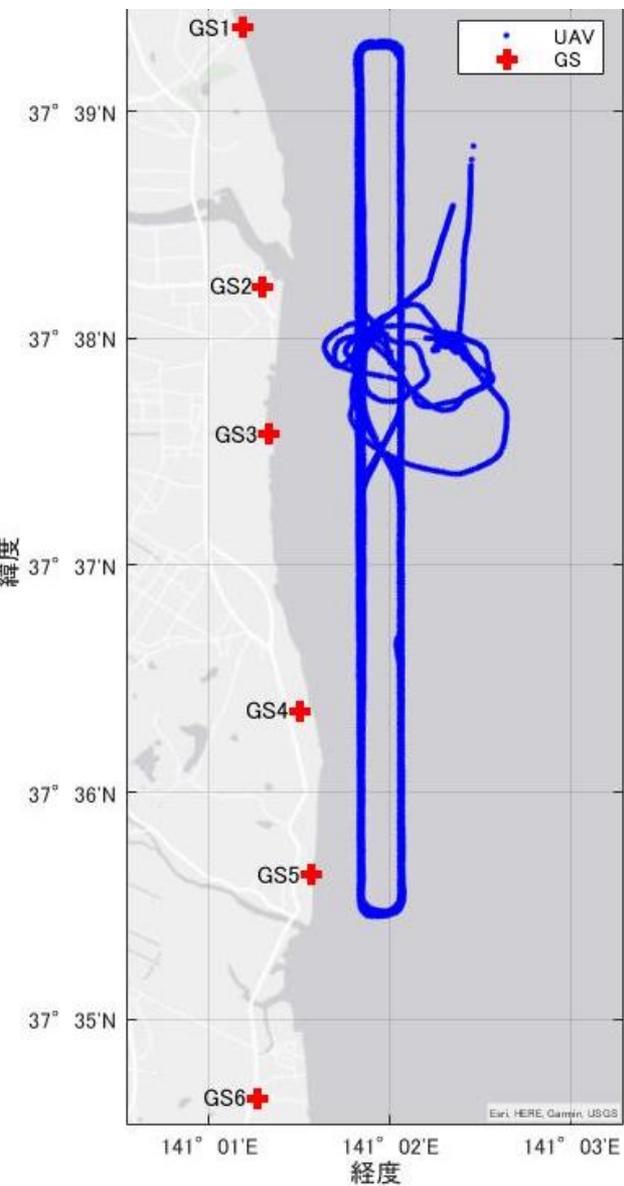
全長	1,960mm	航続時間	120分	運用波高	2.0m
翼幅	3,100mm	運用範囲	20km (日本国内)	動力	電動モータ
離陸重量	19kg	巡航速度	時速65km	発着方法	水上滑走

# 3. 性能解析

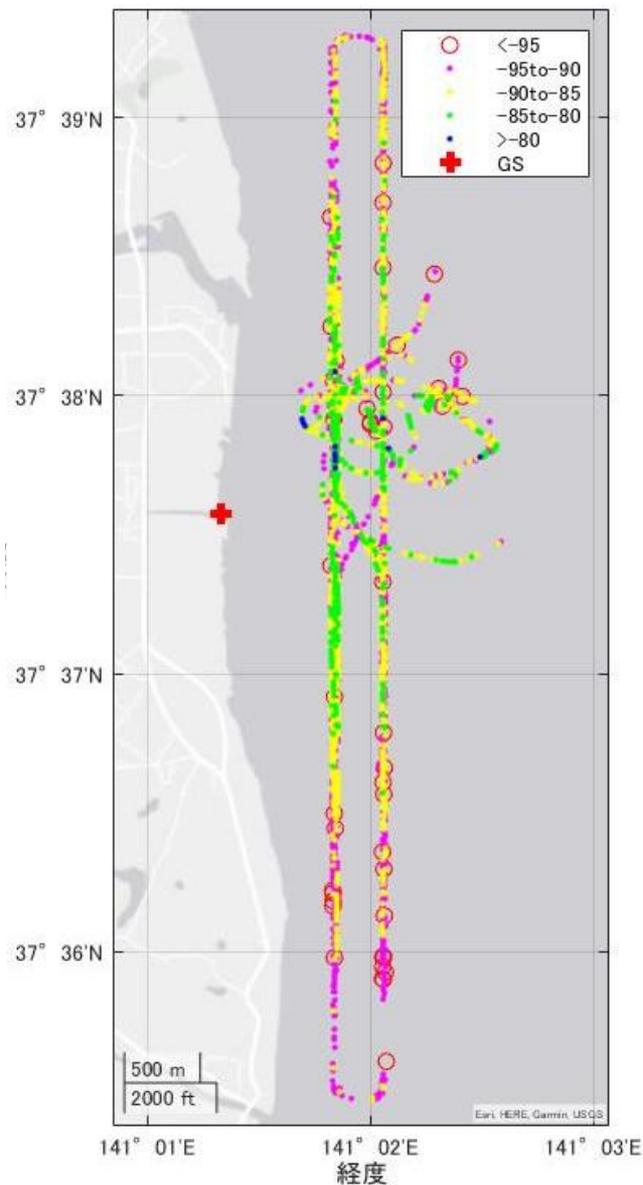
固定翼無人機を用いた飛行実験により  
BLEによる無人機監視システムの性能解析

- ・**単独地上局 (GS3、無指向性アンテナ & 指向性アンテナ)**
  - ① 探知距離
  - ② 受信信号強度 (RSSI: Received signal strength)
  - ③ 位置情報の更新確率 (PU: Probability of Update)
- ・**システム全体**
  - 位置情報の更新確率 (PU)

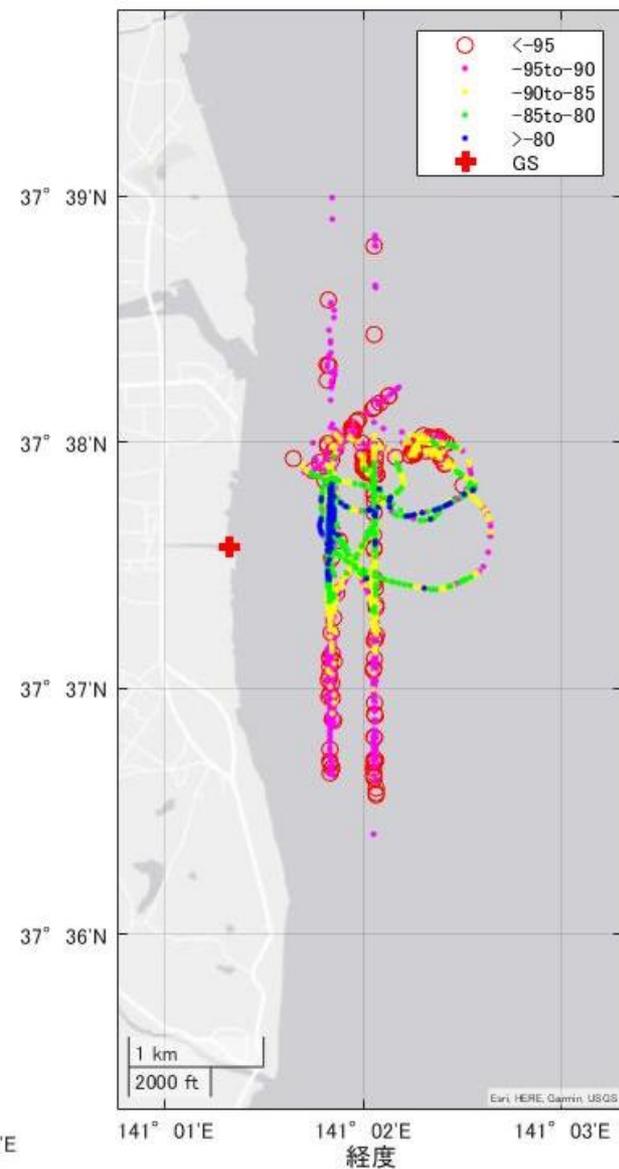
# 監視航跡



システム全体

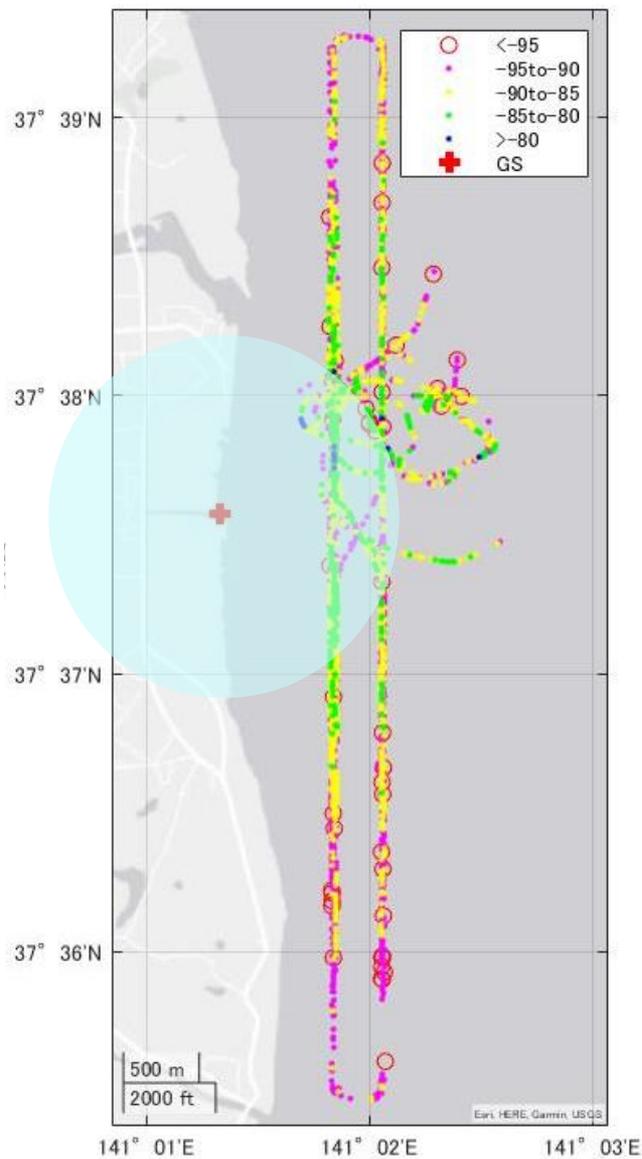
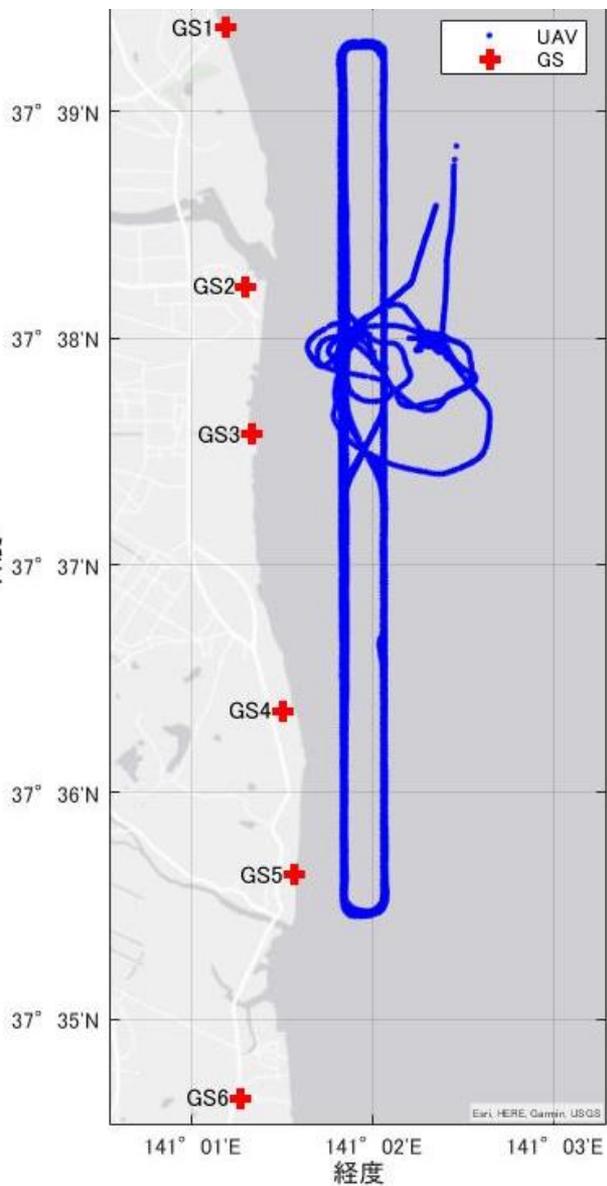


GS3(無指向性)

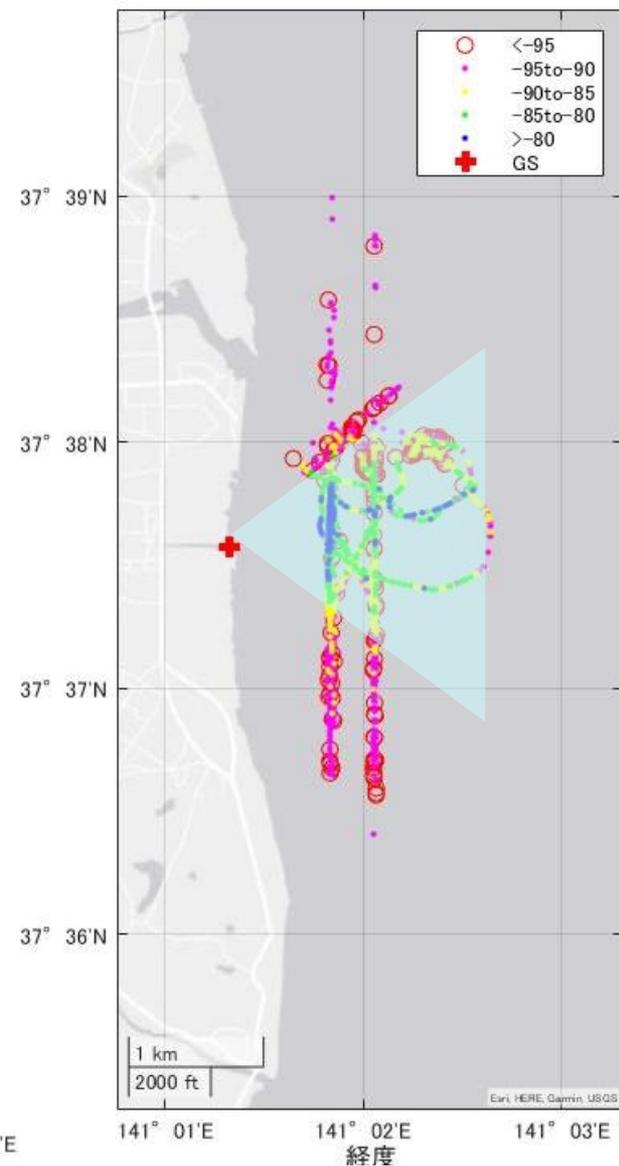


GS3(指向性)

# 監視航跡



**GS3**  
(無指向性9dBi)

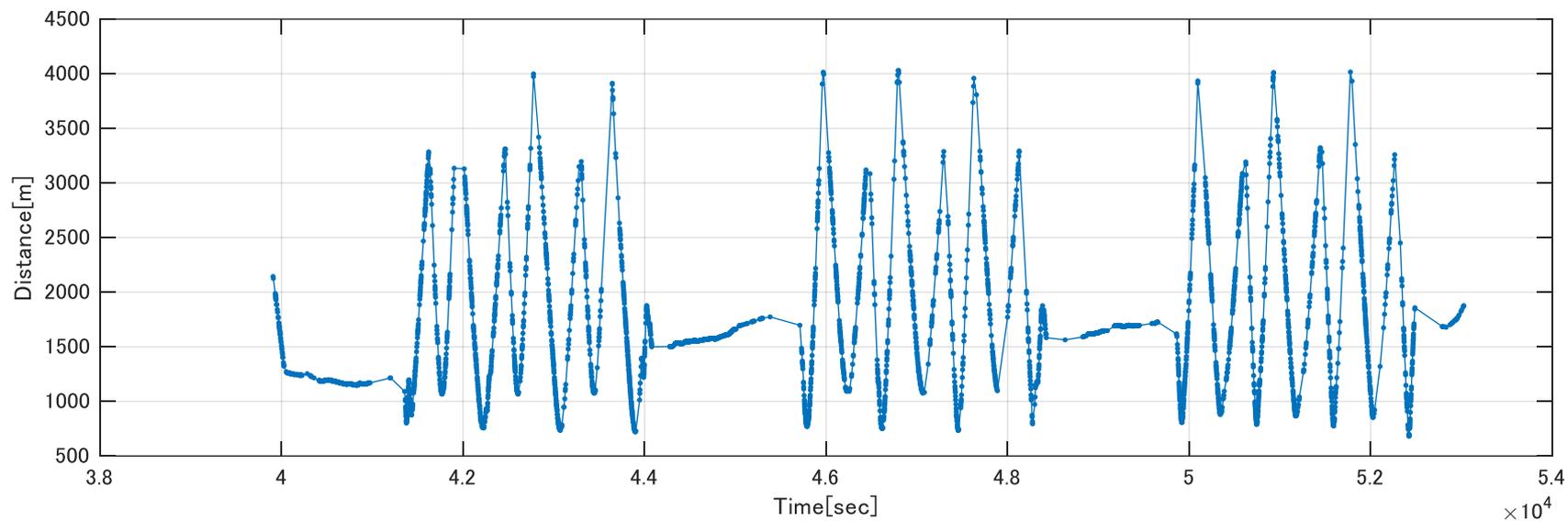


**GS3**  
(指向性14dBi)

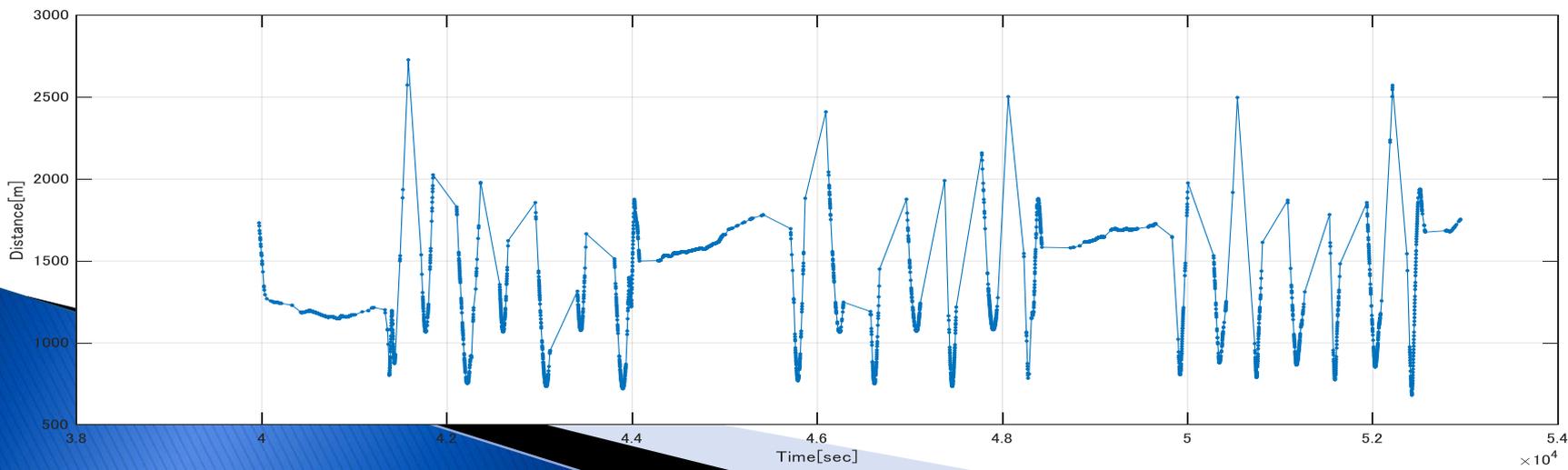
システム全体

# ①探知距離

## 無指向性



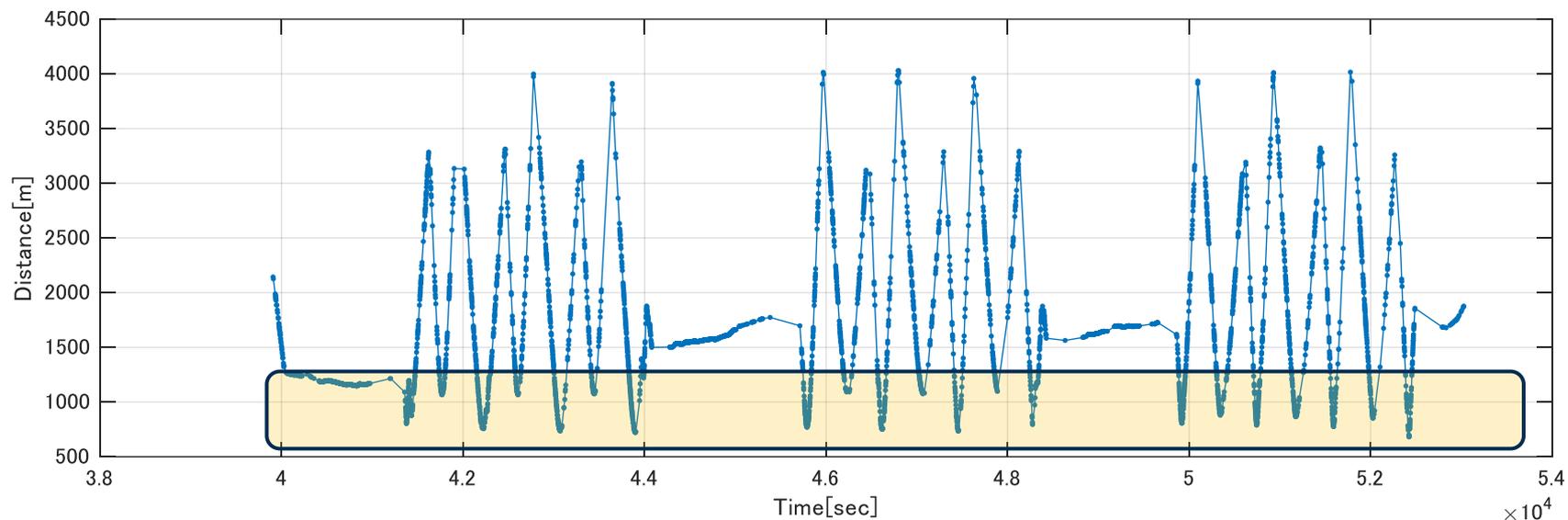
## 指向性



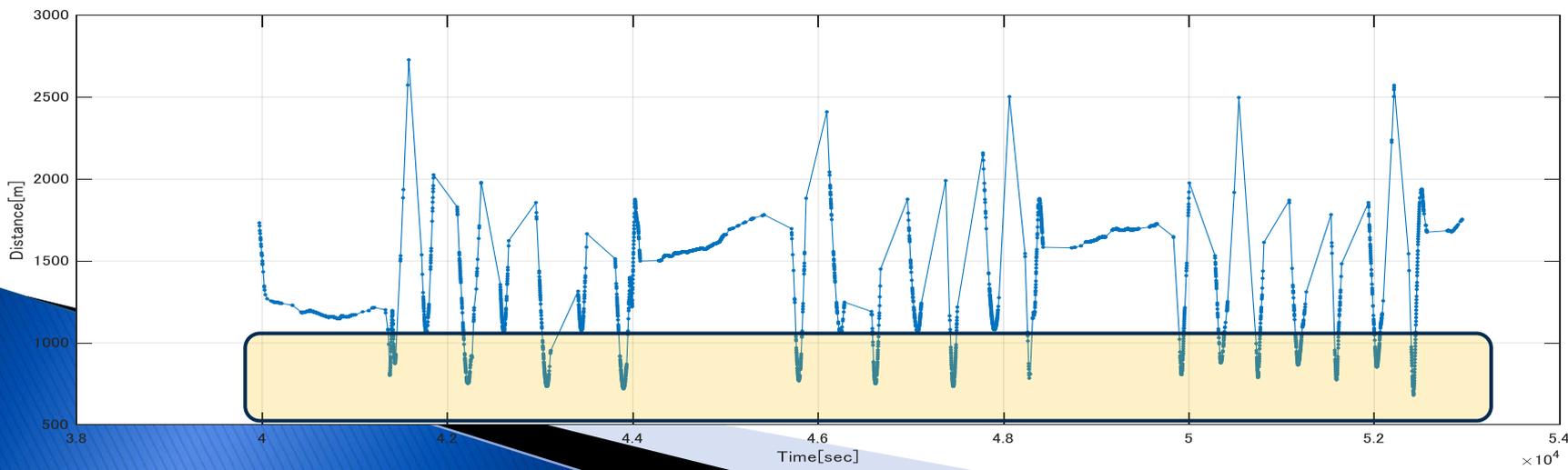
# ①探知距離

## 無指向性

1000m以下は受信メッセージが多い

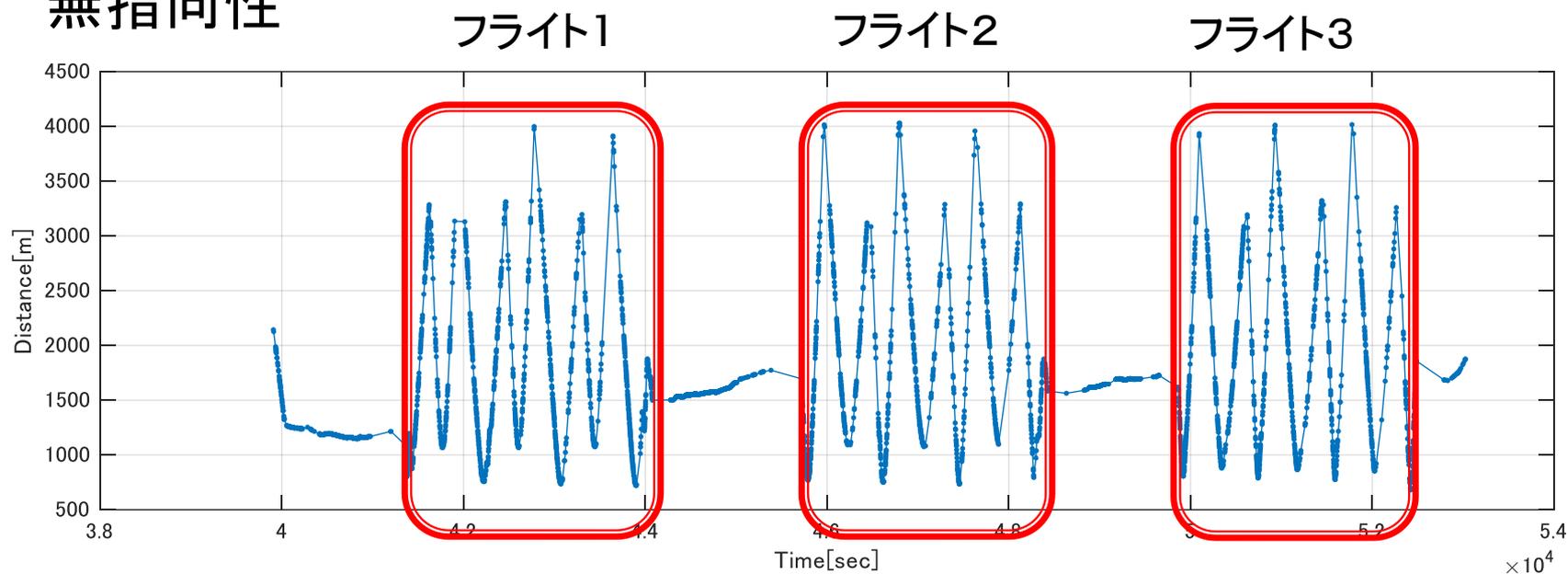


## 指向性

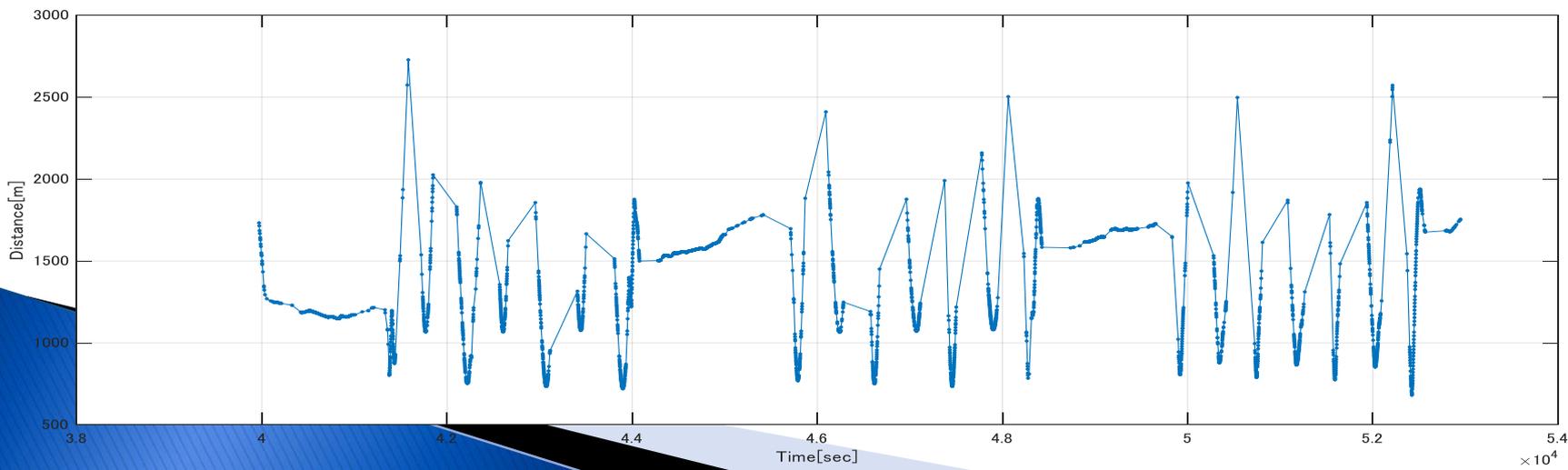


# ①探知距離

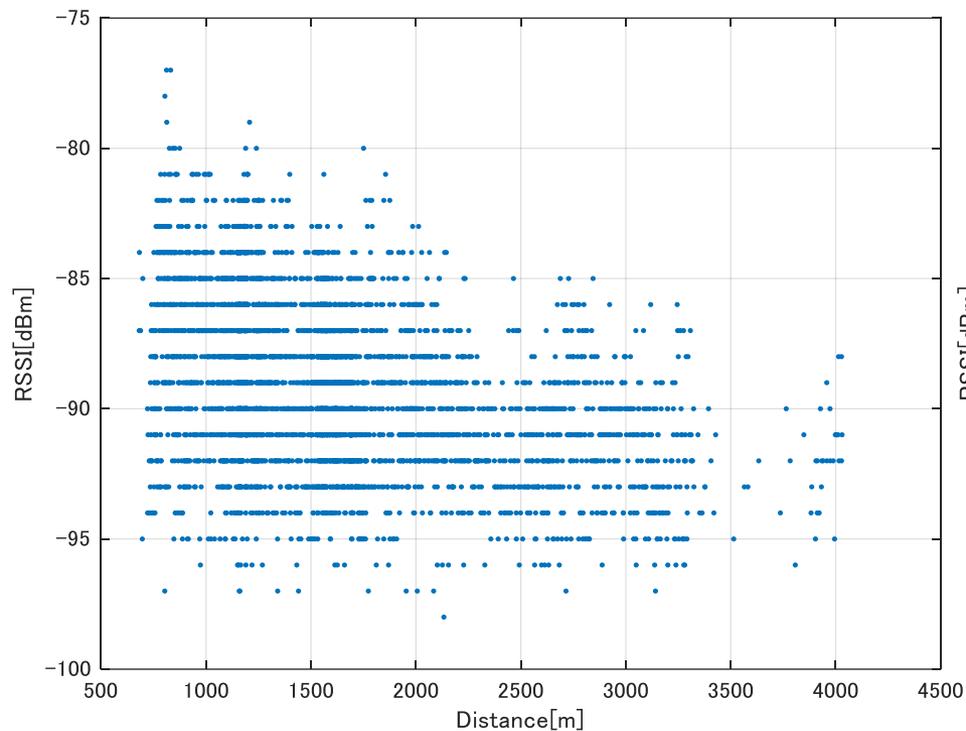
## 無指向性



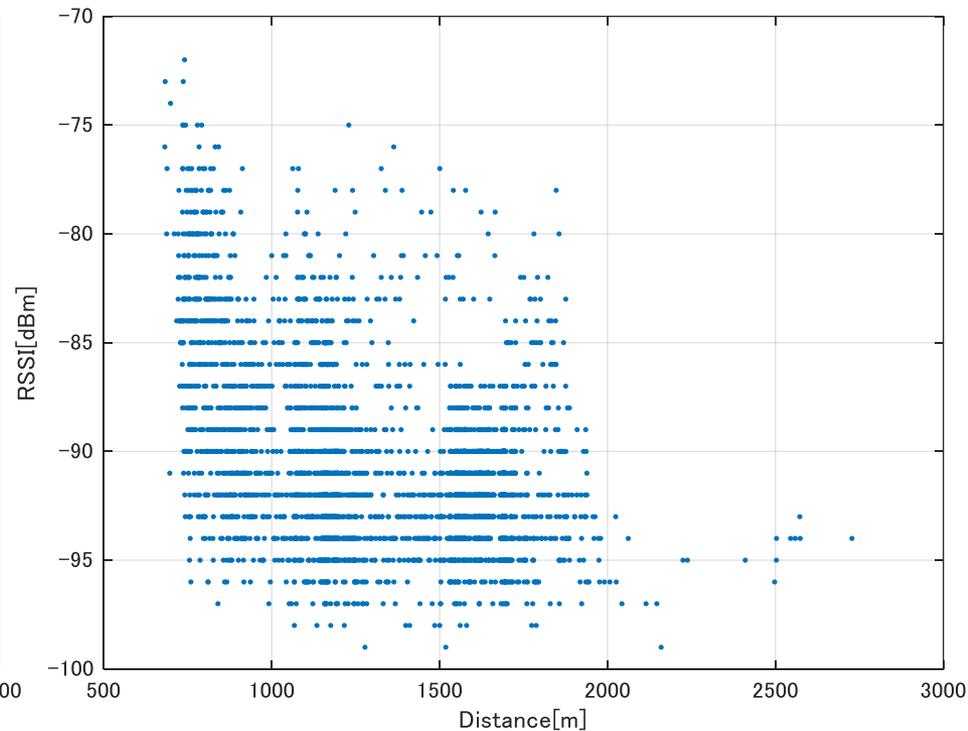
## 指向性



## ②受信信号強度(RSSI: Received signal strength)



無指向性(9dBi)



指向性(14dBi)

-75~-95dBm付近  
概ね想定通り

### ③位置情報の更新確率(PU: Probability of Update)

- 算出方法: 1090MHz拡張スキッタ地上局の欧州規格(EUROCAE) TECHNICAL SPECIFICATION FOR A 1090 MHz EXTENDED SQUITTER ADS B GROUND SYSTEM ED-129Bを参考
- ターミナル3NM/中密度の基準値を適用

データ更新率(PU)	97.5%
データ更新間隔(UI)	5秒
必要データ数	246点以上
必要飛行時間	1230秒以上

# PU算出について

Equation 1:

*Miss period (i) = If  $G > UI$  then  $G - UI$ , else 0* {for reports (i) in each trajectory}

Equation 2:

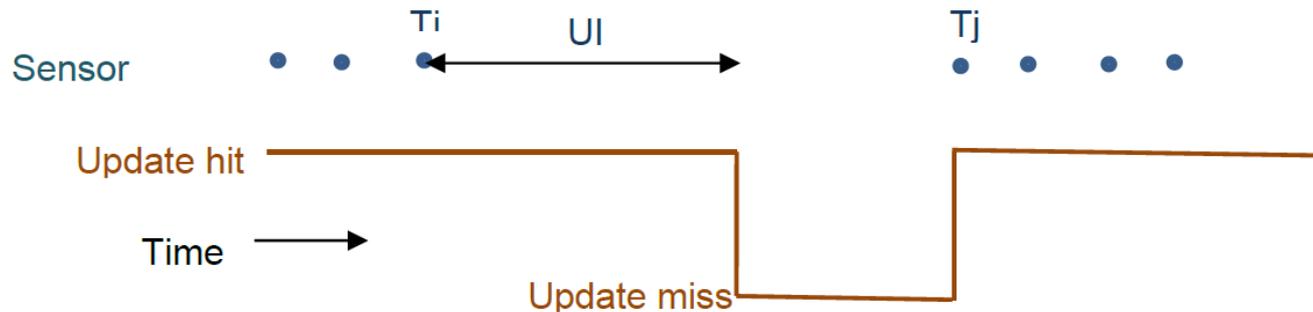
*Total miss period =  $\sum_i$  Miss period (i)* {from trajectories within the applicable volume}

Equation 3:

*Total flight duration =  $\sum_t$  total duration of trajectories* {within the applicable volume}

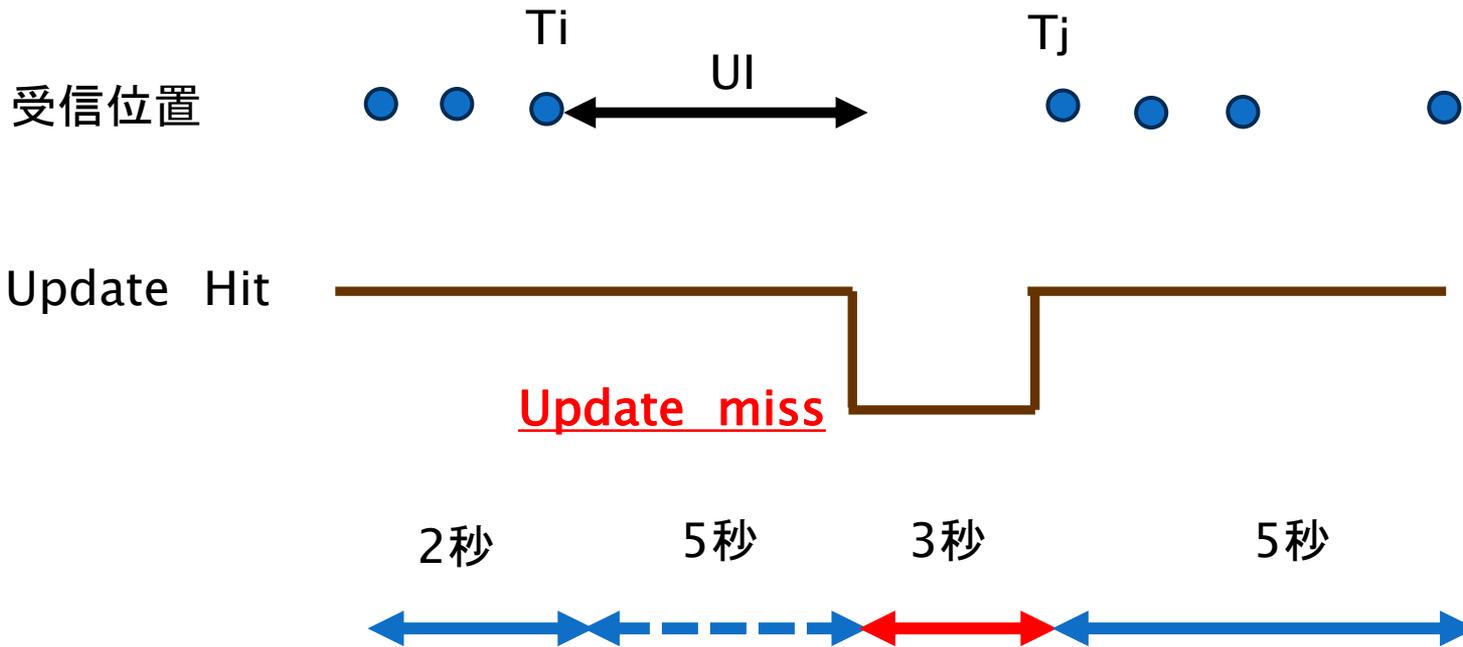
Equation 4:

*PU = 1 - (Total miss period  $\div$  Total flight duration)*



**FIGURE C2: SHOWING THE CONCEPT UPDATE HIT OR MISS PERIOD WITH RESPECT TO REPORT TIMES**

# PU算出について



例:

15秒の航跡

Update Interval(UI)=5秒

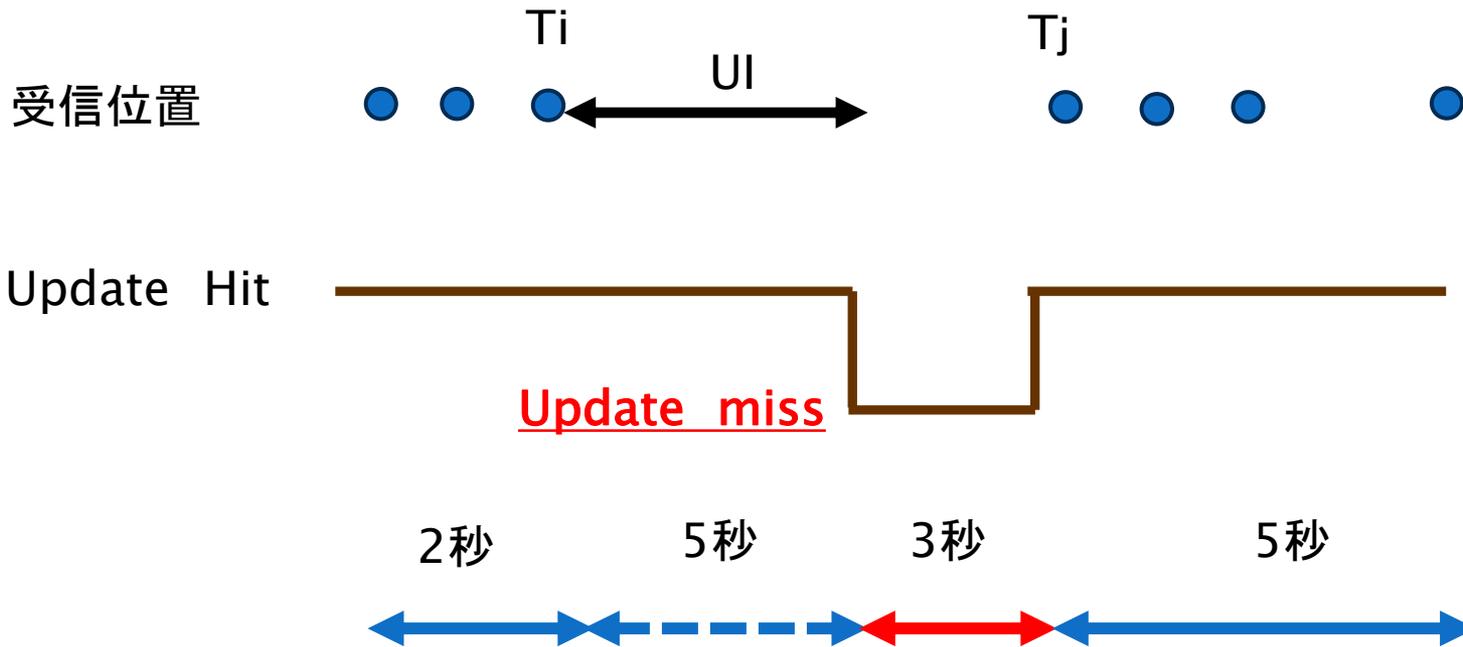
長い航跡の抜け( $T_j - T_i$ )=8秒

計算式)

$$1 - 3 / 15 = 0.8$$

$$PU = 80\%$$

# PU算出について



例:

15秒の航跡

Update Interval(UI)=5秒

長い航跡の抜け( $T_j - T_i$ )=8秒

計算式)

$$1 - 3/15 = 0.8$$

$$PU = 80\%$$

### ③位置情報の更新確率(PU: Probability of Update)

#### 無指向性

フライト	飛行時間 T(Sec)	欠落時間 M(Sec)	PU[%] (1-M/T)
#1	2492	604	75.8
#2	2523	875	65.3
#3	2466	771	68.7
Total	7481	2250	69.9

#### 指向性

フライト	飛行時間 T(Sec)	欠落時間 M(Sec)	PU[%] (1-M/T)
#1	1003	157	84.3
#2	1090	232	78.7
#3	954	202	78.8
Total	3047	591	80.6

#### 単独地上局

- 無指向性のPU ⇒ フライト毎で65～75%、全航跡では約70%
- 指向性のPU ⇒ フライト毎78～84%であり、全航跡では約80%  
(注:長時間欠落は除外)
- 地上局単独では**5秒更新率95%以上**を確保は**困難**

# システム全体

## ネットワーク化

6つの地上受信、11個のアンテナによる統合データ  
位置情報の更新確率(PU: Probability of Update)

フライト	飛行時間 T(Sec)	欠落時間 M(Sec)	PU[%] (1-M/T)
#1	2749	8	99.70
#2	2717	0	100.00
#3	2739	1	99.96
Total	8204	9	99.89

- ・更新率は全てのフライトで99%以上
- ・全航跡で99.89%
- ・複数のGSが相互に補完することで連続的にRIDメッセージを受信
- ・システム全体により南相馬沖の南北7km、東西0.5kmの広い領域を飛行する無人機を位置情報の5秒更新率95%以上でリアルタイム監視を実現

## 4. まとめ

- 海上における自動運航を実現するための要素技術の開発
- 無人機の広域管理実験システムを構築し、飛行実験により性能解析
- 実験システムは、南北7km、東西0.5km、高度の150m未満の領域を5秒更新率(PU)99%以上で監視できることを確認
- 単独の地上受信局では広域で高PUは困難

### BLEの課題

- 長時間欠落の分析
- 地上局の最適配置
- 信号環境による影響
- RID送信機の種類による差異

### 令和6年の予定

- 統合システムや関連技術の開発
- 総合実験 ⇒ 令和5年実験より広い領域での飛行実験を計画