

# 複数GNSSアンテナを利用した 測位精度改善及び信頼度算出に関する研究

2022/02/14

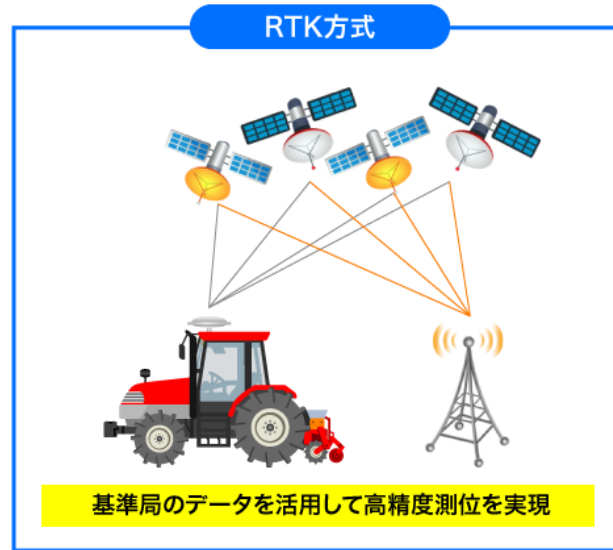
海運ロジスティクス専攻 和田山晃平

指導教員 久保信明

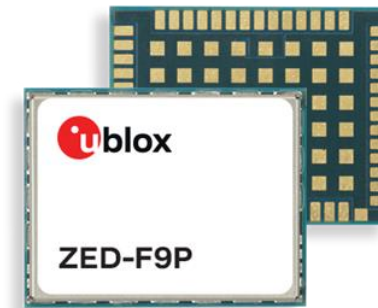
1. はじめに
  - ・ 研究背景
  - ・ 研究の目的
2. 複数アンテナの利用
  - ・ OR選択とAND選択
  - ・ 実験結果①
  - ・ 応用手法と結果
3. インテグリティモニタリング
  - ・ 測位の信頼性
  - ・ 信頼度の算出
  - ・ 実験結果②
4. まとめ、今後の課題



# 1. はじめに



## 低コストGNSS受信機



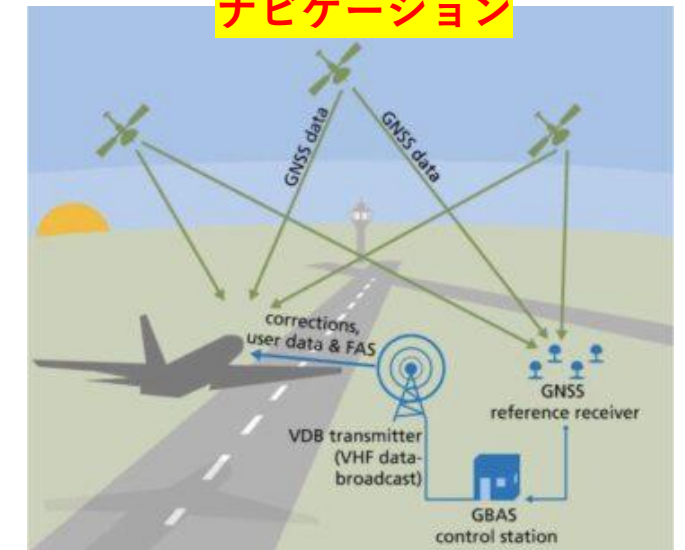
## 自動運転



## 情報化施工



## ナビゲーション



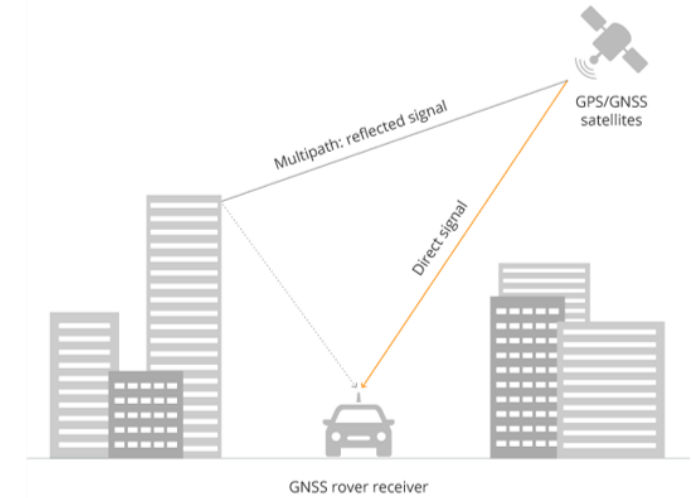
# 1. はじめに



衛星からの信号が遮断される鉄橋



衛星からの直接波が届きにくい都市部

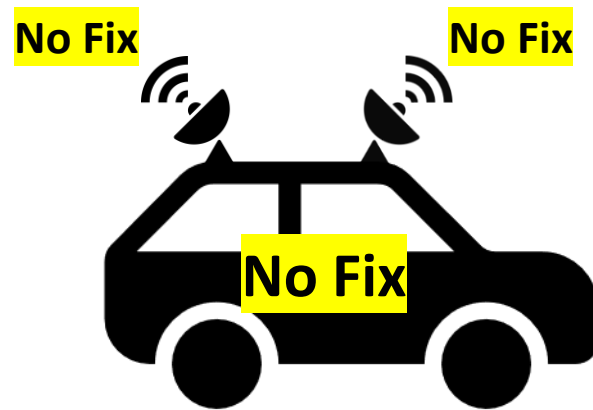
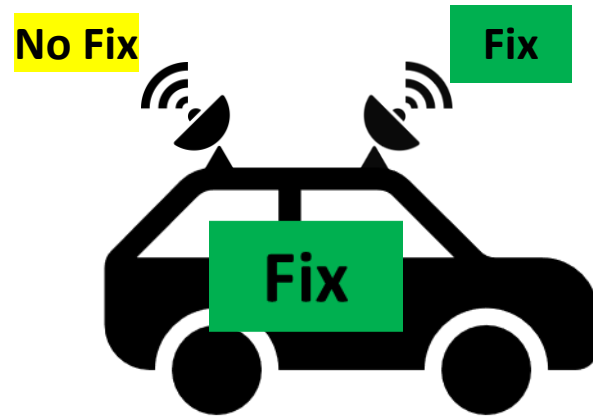


	RTK 測位精度	RTK 測位率
オープンスカイ	1cm程度	100%
住宅街	1cm	90~100%
中低層ビル街	数cm	80~90%
高層ビル街	数cm~10cm	50~70%

## 本研究の目的

- ①測位精度が劣化するエリアにおける測位率の向上および測位ミスの低減
- ②位置情報の信頼度を可視化

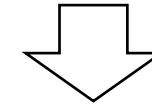
## 2. 複数アンテナの利用



### OR選択

オープンスカイ環境下：  
安定した測位環境であるため  
2つとも同じような測位率と測距精度になる。

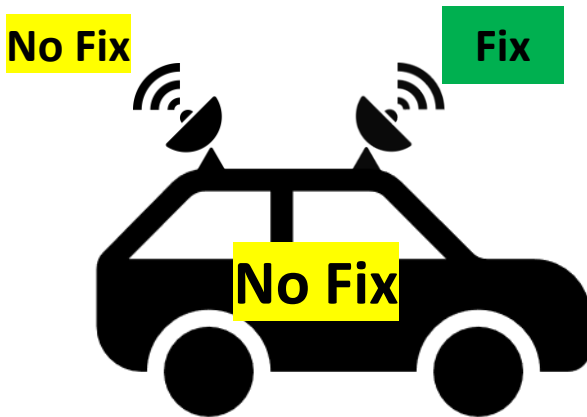
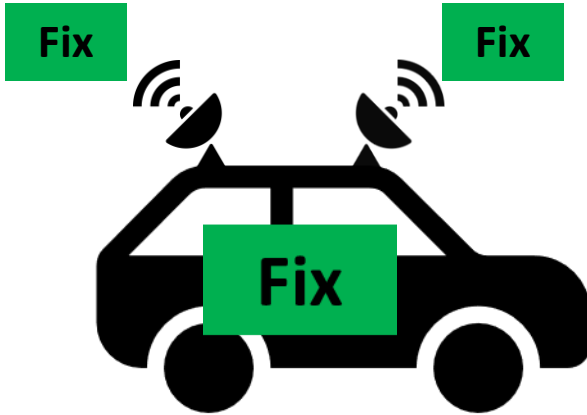
都市部環境下：  
衛星からの信号経路が複雑になるため  
2つの測位率と測距精度に差が生まれるのではないかと



2つのアンテナのうち、どちらか一方でもFIX解が得られていれば、そのFIX解を全体の解として採用する。

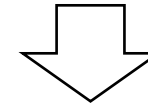
**アンテナ間距離をたった1m程度離れただけで都市部で測位率を改善させられる手法となるか**

## 2. 複数アンテナの利用



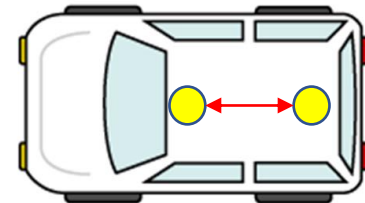
### AND選択

衛星からの信号経路が複雑になる都市部において  
2つ同時にFIXしていたときの測位解は  
信頼度の高い測位解なのではないか？



- ①2つ同時にFIX解が得られているか
- ②2つの位置座標からアンテナ間距離を算出し、  
実際のアンテナ間距離と一致するか

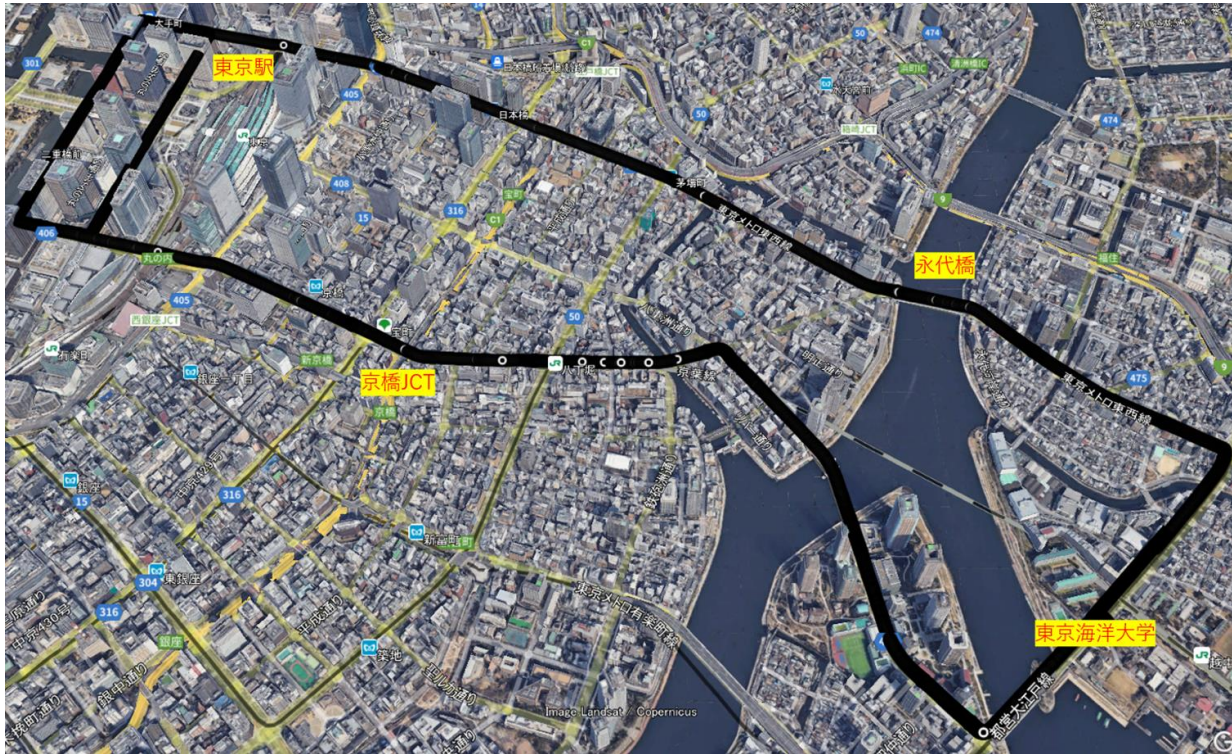
**正しいFIX解を検出する手法となるか**



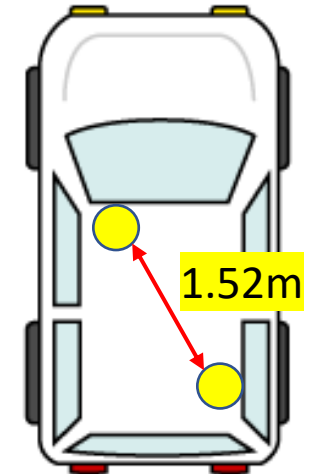
● GNSSアンテナ



## 2. 複数アンテナの利用

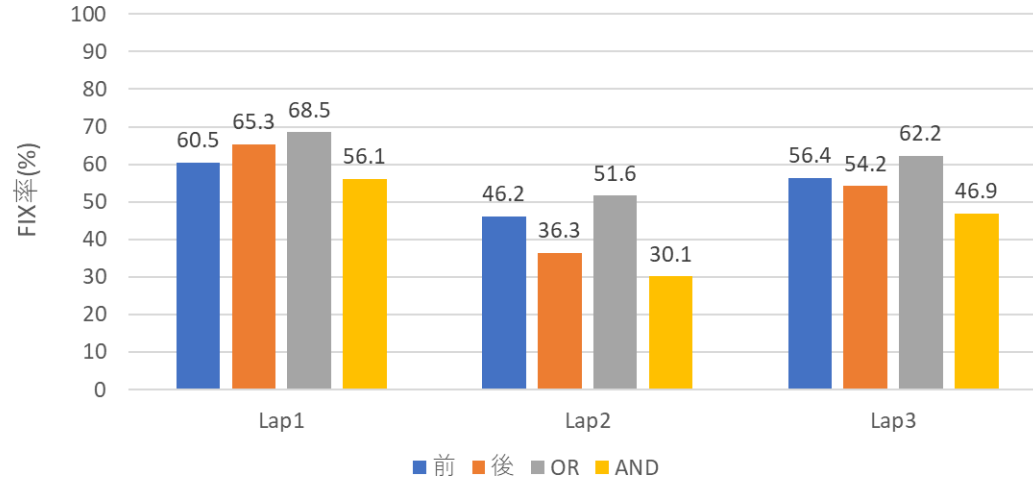


2021.03/02 実験環境	
実験時間	Lap1 9:18:08~9:58:00
	Lap2 13:59:00~14:33:32
	Lap3 14:55:00~15:27:20
実験場所	東京駅周辺~東京海洋大学
GNSS受信機	Ublox社 ZED-F9P
真値	POS LV-520

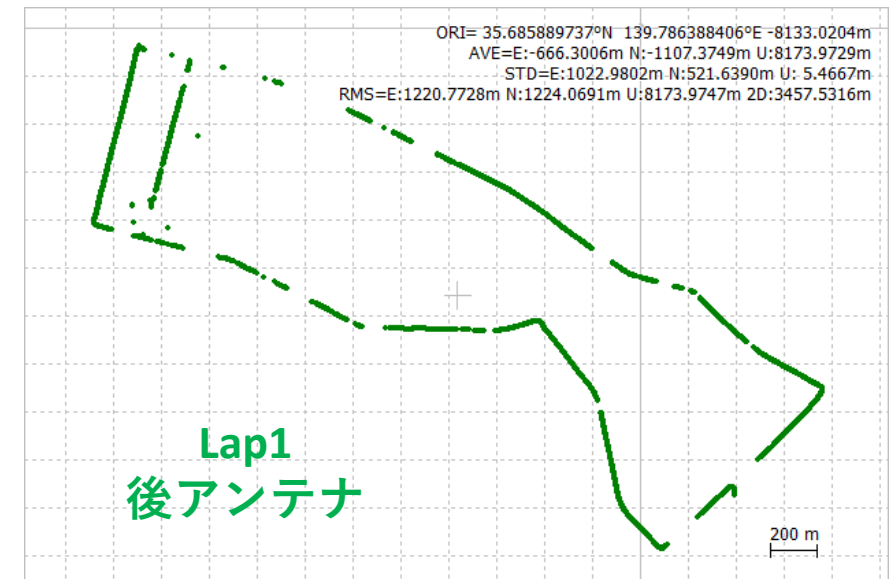
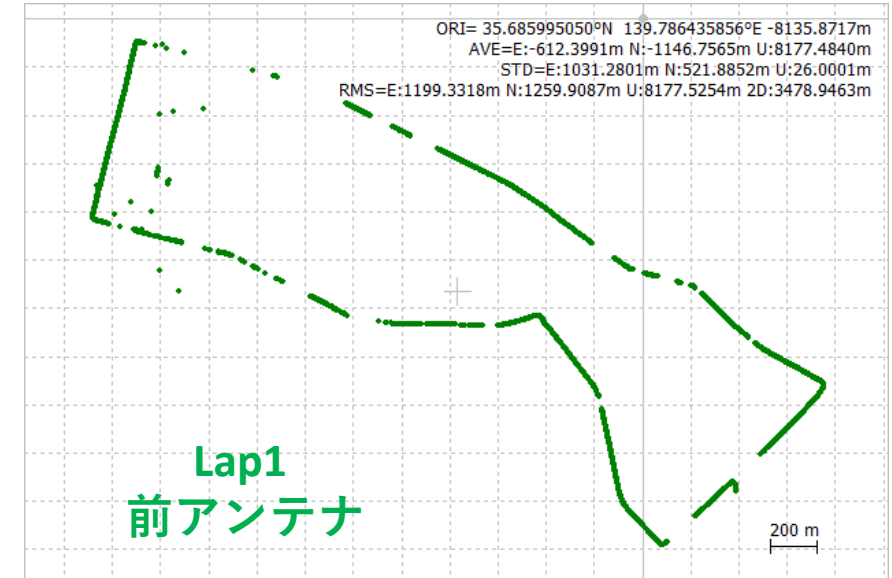
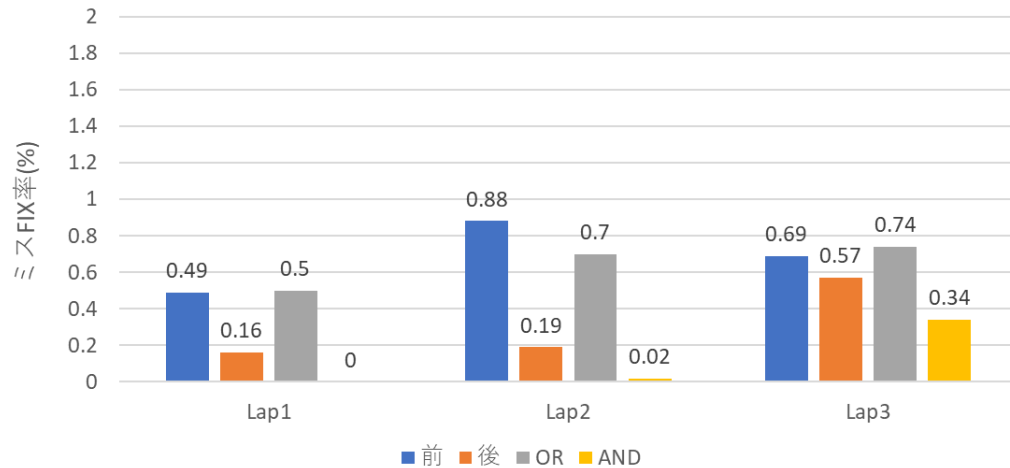


# 2. 複数アンテナの利用

FIX率

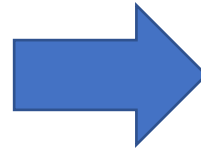
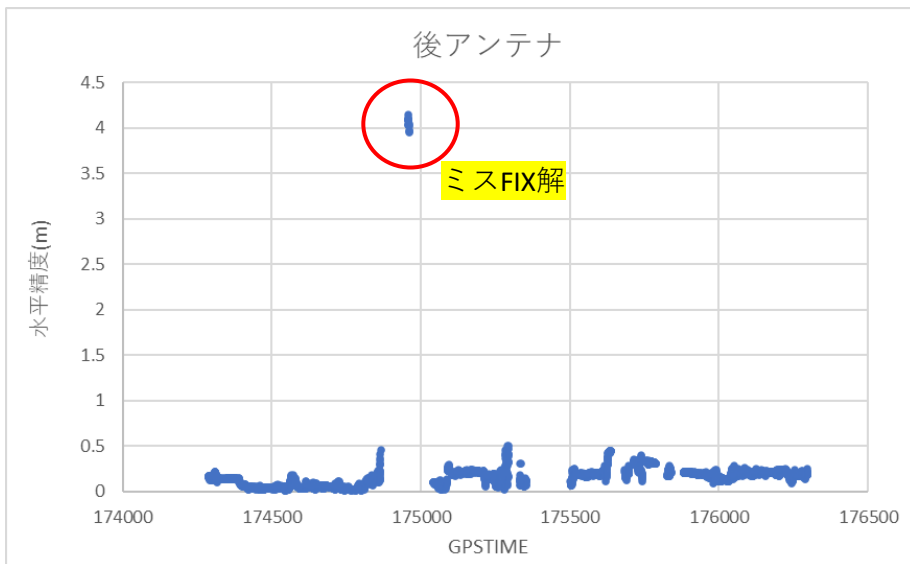
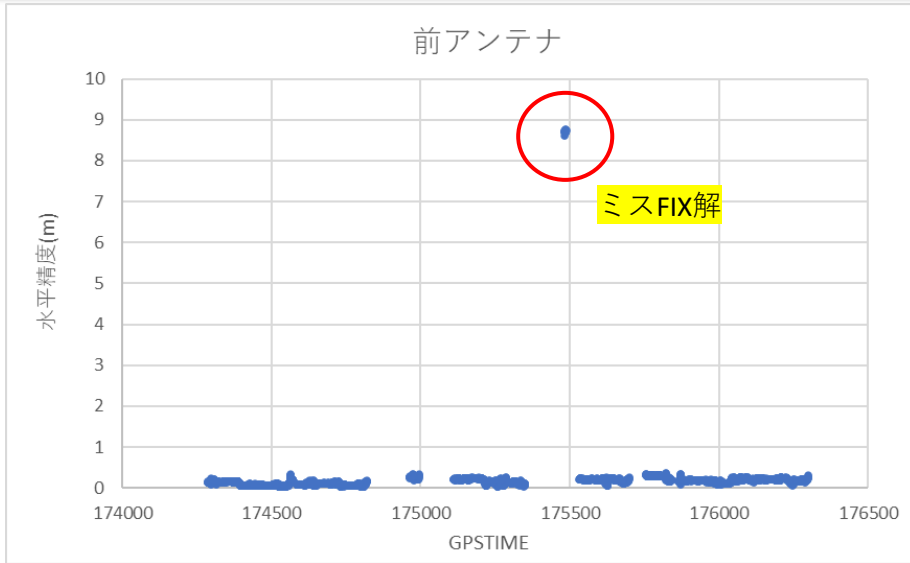


ミスFIX率

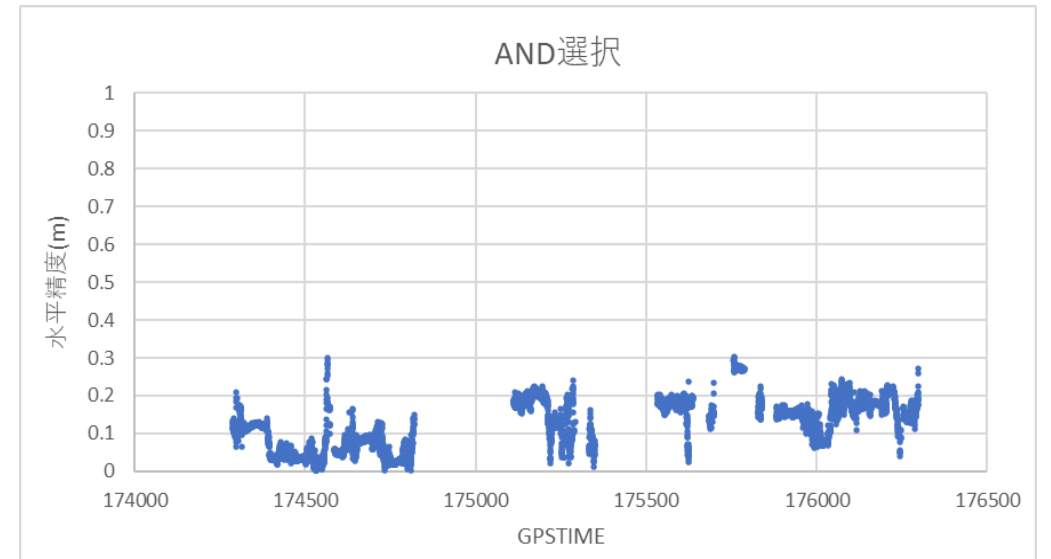
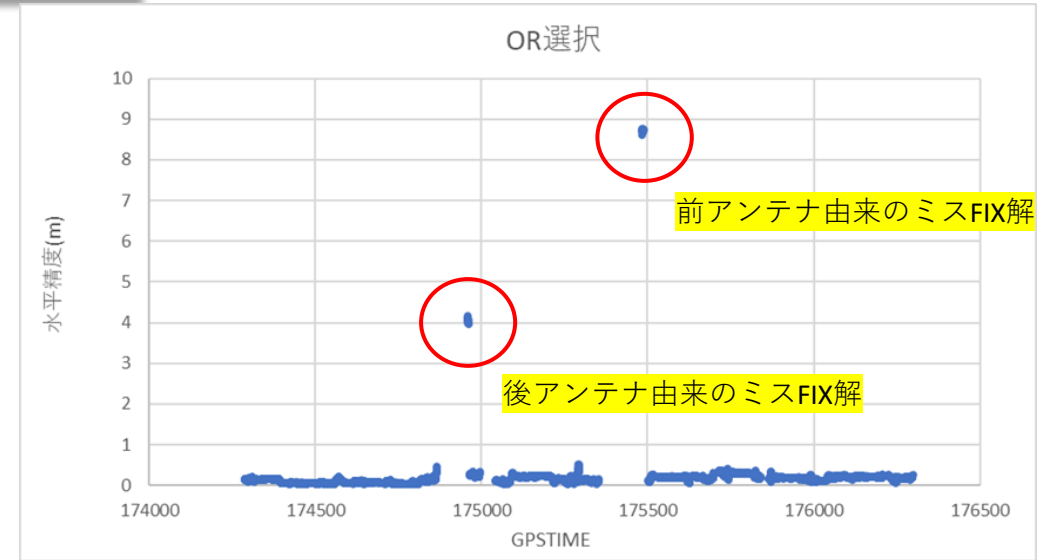




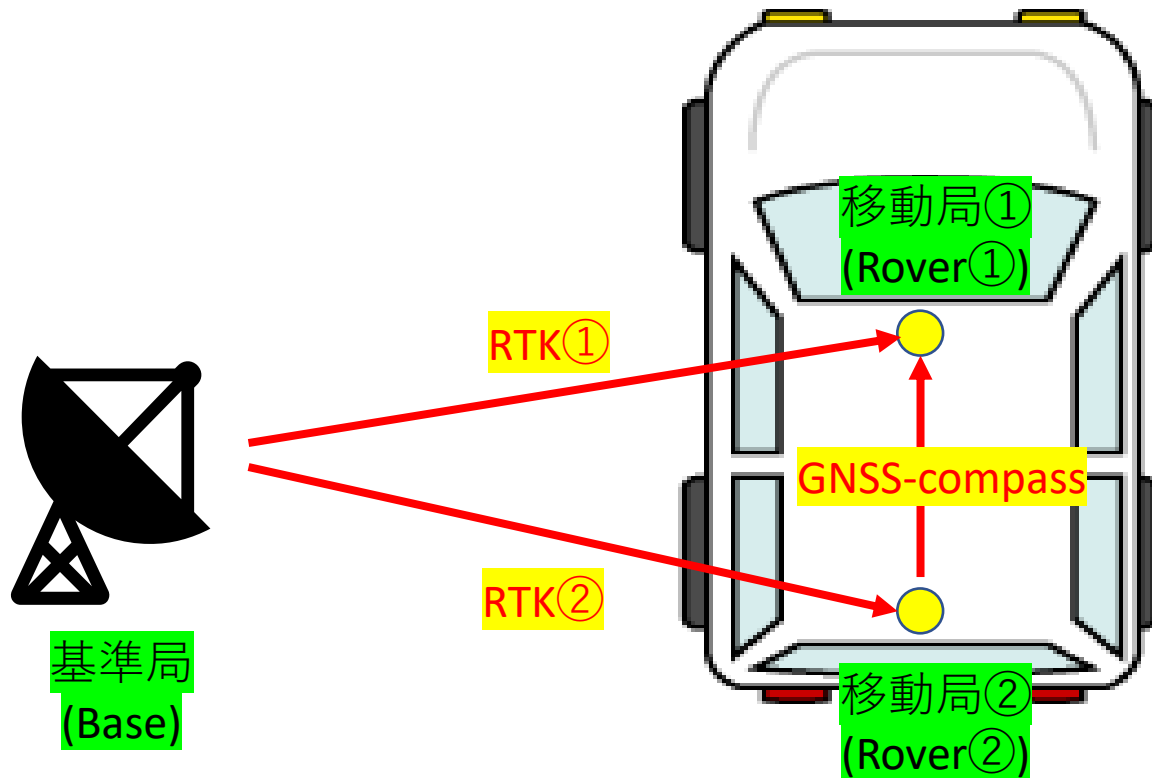
# 2. 複数アンテナの利用



水平精度



## 2. 複数アンテナの利用



### 整数アンビギュイティ

2つのRTK測位、1つのGNSS-compassを同時に行ったときある基準衛星と、ある従衛星における整数アンビギュイティ $N$ に注目すると以下の式で表せる。

$$\begin{aligned}
 N_{(Rover1-Base)} &= N_{Rover1} - N_{Base} && \dots (RTK①) \\
 N_{(Rover2-Base)} &= N_{Rover2} - N_{Base} && \dots (RTK②) \\
 N_{(Rover1-Rover2)} &= N_{Rover1} - N_{Rover2} && \dots (compass)
 \end{aligned}$$

↓ 整理すると

$$N_{(Rover1-Rover2)} = N_{(Rover1-Base)} - N_{(Rover2-Base)}$$

**compass = RTK① - RTK②** であるため  
3つのうち、2つの $N$ が求めれば3つ目が推測できる

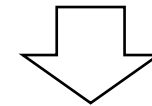
- ① OR選択で増加した時刻を対象
- ② 推測式から3つ目の $N$ を推測し、RTK測位を行う
- ③ 2つのRTK測位解の位置座標からアンテナ間距離を算出
- ④ 算出したアンテナ間距離が実際の距離および compass で求めたアンテナ間距離と等しいか

## 2. 複数アンテナの利用

実際のアンテナ間距離：1.52m

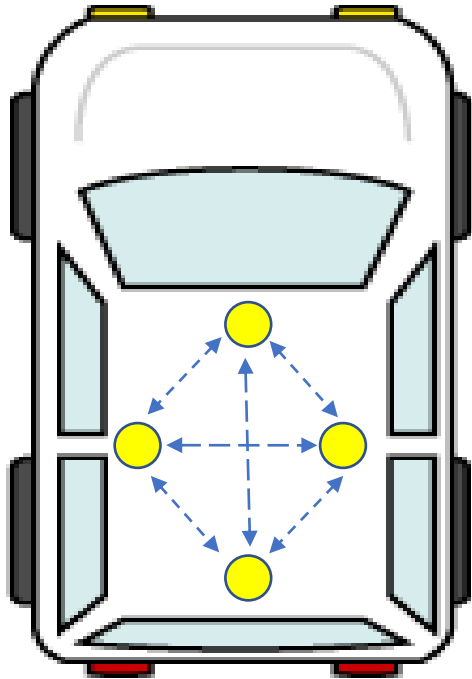
GPSTIME	N推定 アンテナ間距離	compass アンテナ間距離
174807.8	4.71m	1.52m
174812.4	5.09m	1.55m
174812.6	5.01m	1.54m
175685.2	6.42m	1.50m
175685.4	6.42m	1.51m
175685.8	6.33m	1.52m
176033.0	2.49m	1.53m
176033.4	2.64m	1.54m
176033.6	2.78m	1.54m
176202.0	2.26m	1.52m

- GNSS-compassによって求められたアンテナ間距離はほぼ真値通りとなっていた。
- 推測RTK測位解とRTK測位解から算出したアンテナ間距離はほとんど真値から遠い値になっていた。  
→推測RTK測位解の精度が悪すぎる



RTK①とRTK②の共通衛星でしかNの推定が行えないため  
間違ったNの衛星が残存していたことが原因か

## 2. 複数アンテナの利用



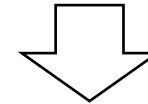
### 多数決原理

4つ同時にRTK測位を行えば...

AND選択の組み合わせが増えるので  
FIX率の低下をおさえられるのではないかと

+

FIX解が得られているアンテナが多いほど  
信頼度の高い測位解になるのではないかと



- ①2つ以上同時にFIX解が得られているか
- ②2つの位置座標からアンテナ間距離を算出し、  
実際のアンテナ間距離と一致するか
- ③FIX解が同時に得られているアンテナが多いほど  
ミスFIX率は低下するか

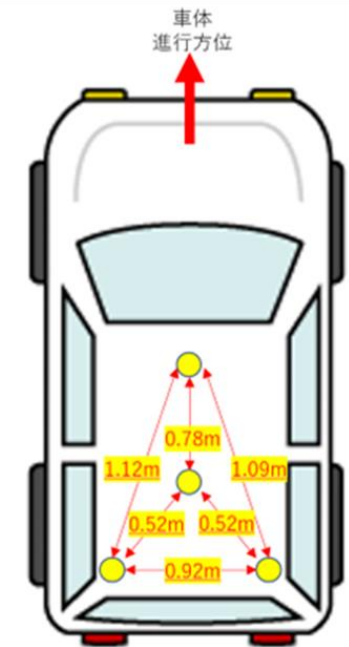
**FIX率を低下させずに  
信頼度の高い測位解を得られる手法となるか**



## 2. 複数アンテナの利用

2022.08/31 実験環境

実験時間	9:48:00~10:17:02
実験場所	東京駅周辺~東京海洋大学
GNSS受信機	Ublox社 ZED-F9P
真値	POS LVX-125



## 2. 複数アンテナの利用

後処理解析	内訳	ミスFIX率
FIX解=0	35.0%	-
FIX解=1	10.0%	12.9 %
FIX解=2	11.4%	0 %
FIX解=3	11.5%	0 %
FIX解=4	32.1%	0 %
計	100.0%	-

リアルタイム	内訳	ミスFIX率
FIX解=0	21.3%	-
FIX解=1	12.9%	64.9 %
FIX解=2	13.9%	5.3 %
FIX解=3	11.3%	0 %
FIX解=4	40.1%	0 %
計	100.0%	-

2022.0831 後処理	前アンテナ	後アンテナ	右アンテナ	左アンテナ	OR選択 (前-後)	AND選択 (前-後)	多数決原理
<b>FIX率</b>	49.7%	54.8%	38.0%	47.5%	60.7%	43.4%	55.0%
<b>ミスFIX率</b>	0.17 %	0.65 %	1.4%	0.2%	0.61%	0.0%	0.0%

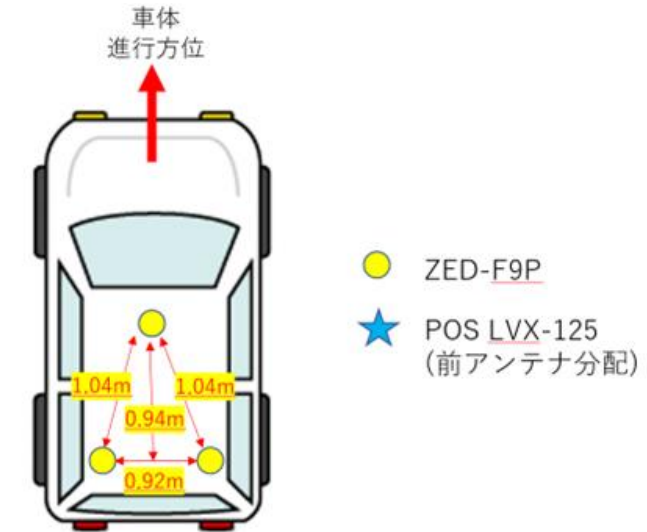
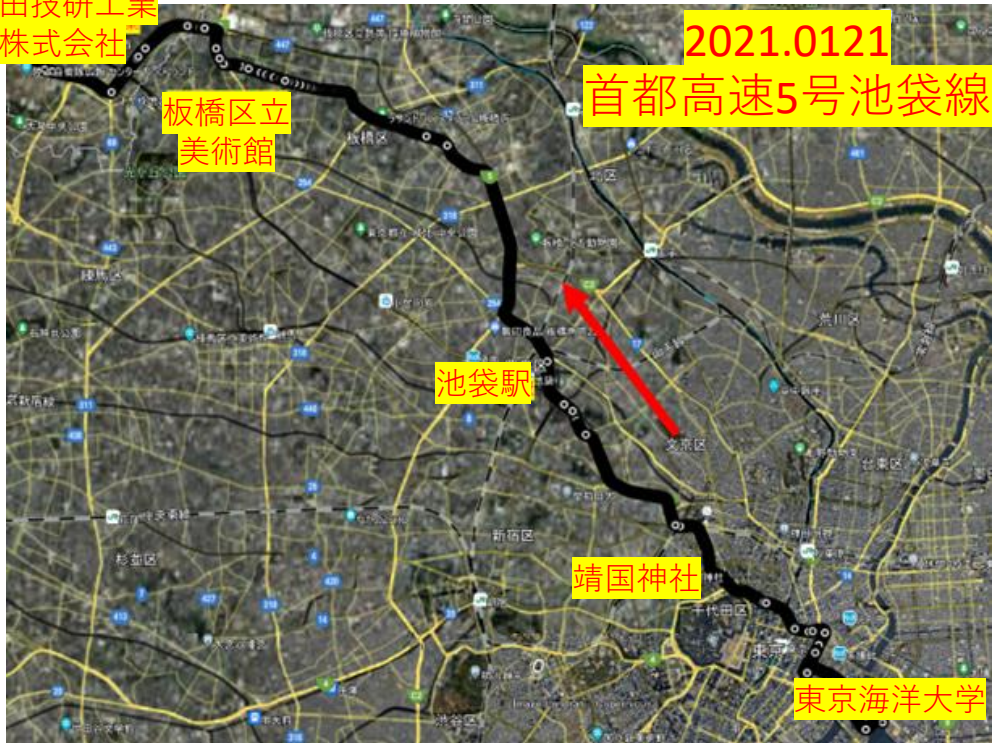
2022.0831 リアルタイム	前アンテナ	後アンテナ	右アンテナ	左アンテナ	OR選択 (前-後)	AND選択 (前-後)	多数決原理
<b>FIX率</b>	50.9%	66.7%	60.4%	54.5%	72.8%	43.8%	65.3%
<b>ミスFIX率</b>	13.15 %	1.67 %	5.81%	0.0%	8.3%	1.2%	1.1%





## 2. 複数アンテナの利用

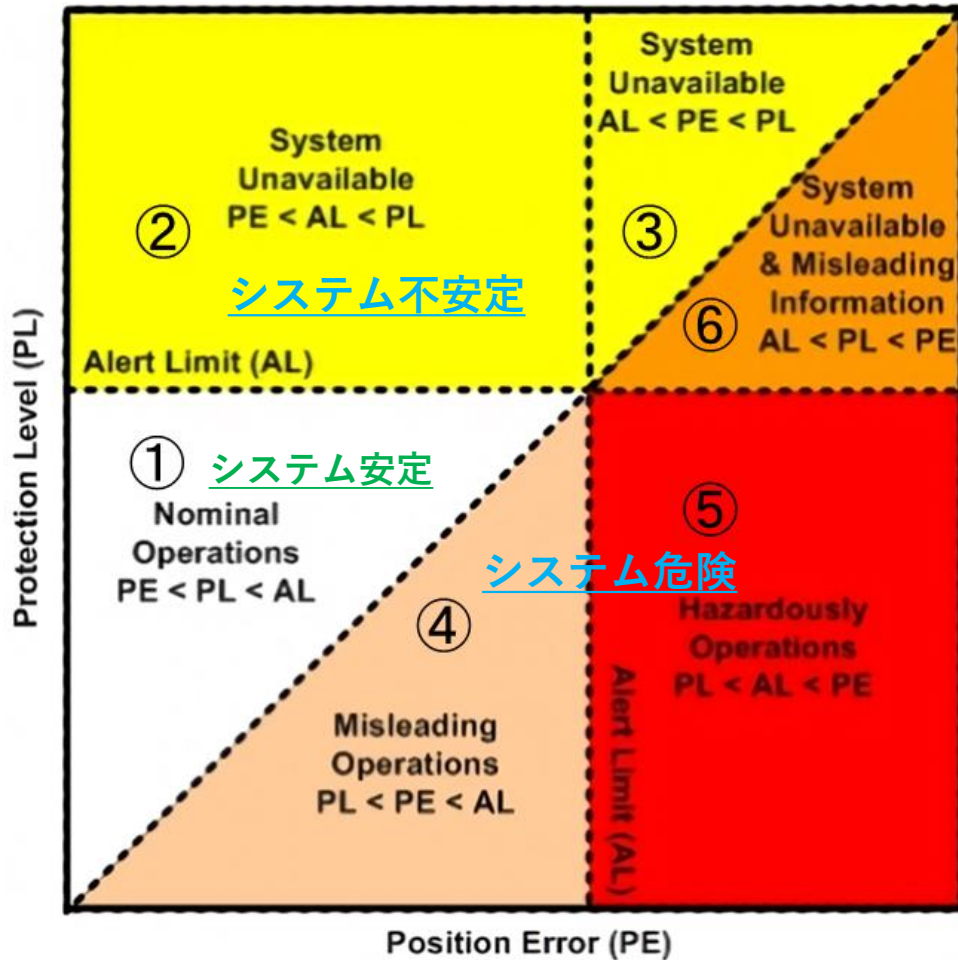
本田技研工業  
株式会社



FIX率 (%)	前	後	右	左	OR選択 2アンテナ	OR選択 3アンテナ	OR選択 4アンテナ
2021.0121 オープンスカイ	83.6	-	79.3	82.1	84.8	86.0	-
2022.0831 高層ビル街	49.7	54.8	37.9	47.4	60.7	63.0	65.2



# 3. インテグリティモニタリング



システムのインテグリティ機能の確認  
(スタンフォードチャート)

## PL(Protection Levels)とは

位置誤差を確率論に基づき、「どのくらいの確率でこれくらいの精度に収まっているはず」と保証する指標

- └① Alert Limits > Protection Levels > Position Error  
システムは安定しており、**利用可能**であると判断する。
- └②,③ Protection Levels > Alert Limits  
システムは不安定なので、**利用不可**であると判断する。
- └④,⑤,⑥ Position Error > Protection Levels  
システムは危険なので、**利用不可**であると判断する。

※PL : Protection Levels(保護レベル)  
AL : Alert Limits(警告限界値)  
PE : Position Error(実際の誤差)

**PLが保証する精度とその確率が  
実際の誤差に対して、どれくらい満足しているか検証**





### 3. インテグリティモニタリング

#### FIX解があるとき

$$PL = HDOP \times \sigma_{RTK} + b_p$$

$\sigma_{RTK}$  : RTK測位の測距精度  
 $b_p$  : POSLVXの誤差  
 HDOP : 水平精度低下率

●  $b_p$ について  
 POSLVXの水平方向の標準偏差から引用  
 99.7%信頼区間とするため、 $3\sigma$ の値を $b_p$ に代入する。

●  $\sigma_{RTK}$ について  
 搬送波位相の測距精度にマルチパスや電離層の影響を考慮して、今回は**2.5cm**と設定する。  
 $b_p$ 同様、 $3\sigma_{RTK}$ とする。

● HDOPについて  
 2次元の測位における誤差拡大の係数

#### FIX解がないとき

$$PL_t = PL_{t-1} + \sigma_{DR} + b_p$$

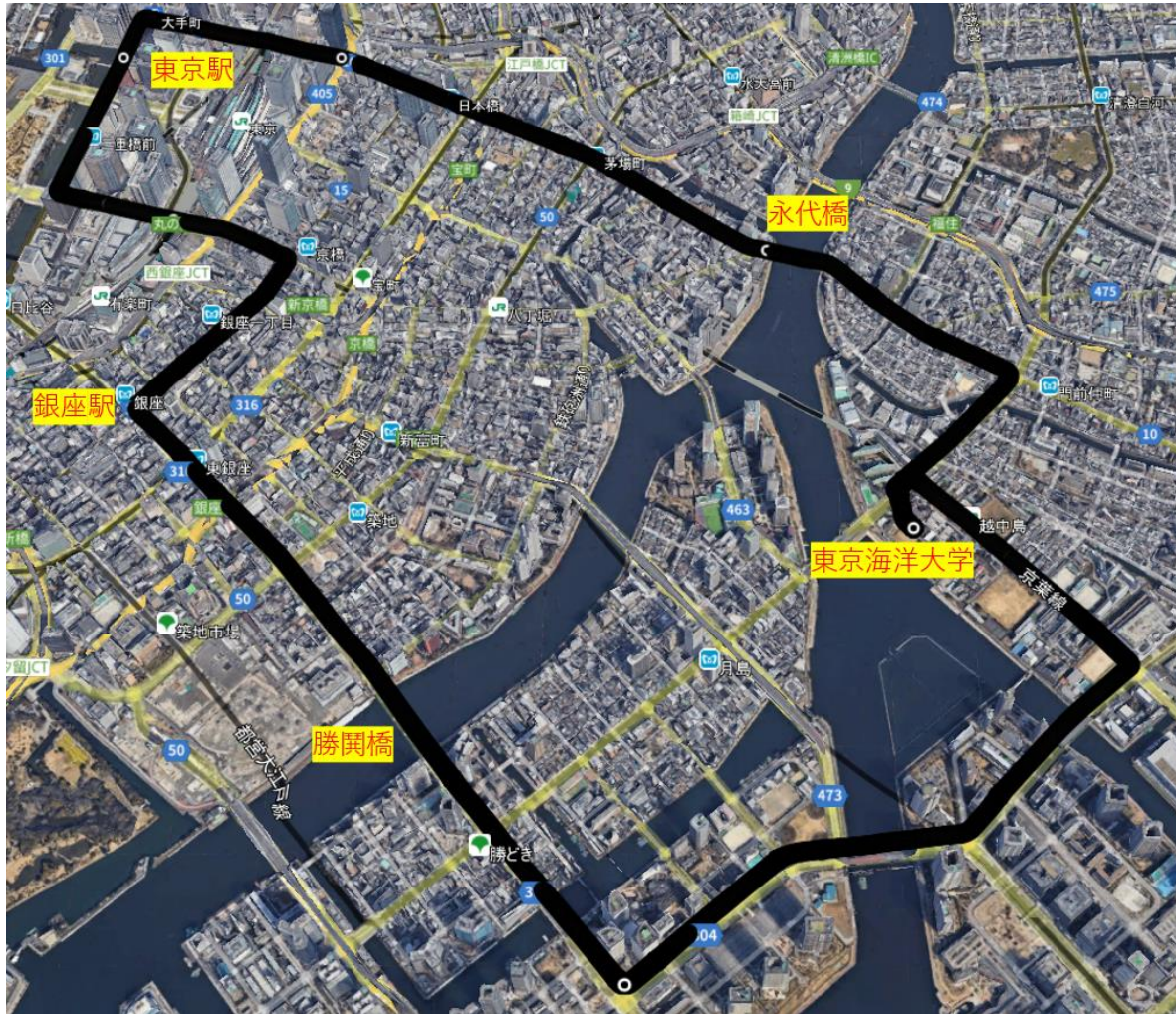
$\sigma_{DR}$  : DRの蓄積誤差  
 $b_p$  : POSLVXの誤差

●  $b_p$ について  
 POSLVXの水平方向の標準偏差から引用  
 99.7%信頼区間とするため、 $3\sigma$ の値を $b_p$ に代入する。

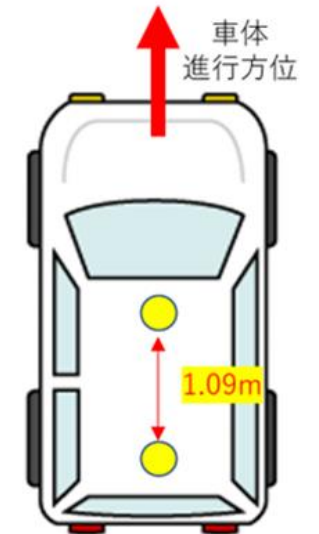
●  $\sigma_{DR}$ について  
 DRの蓄積誤差の増加率であり、  
 実験データを参考に、今回は**5.0cm/s**と設定する。  
 $b_p$ 同様、 $3\sigma_{DR}$ とする。  
 停止区間中の誤差の蓄積は行わない。



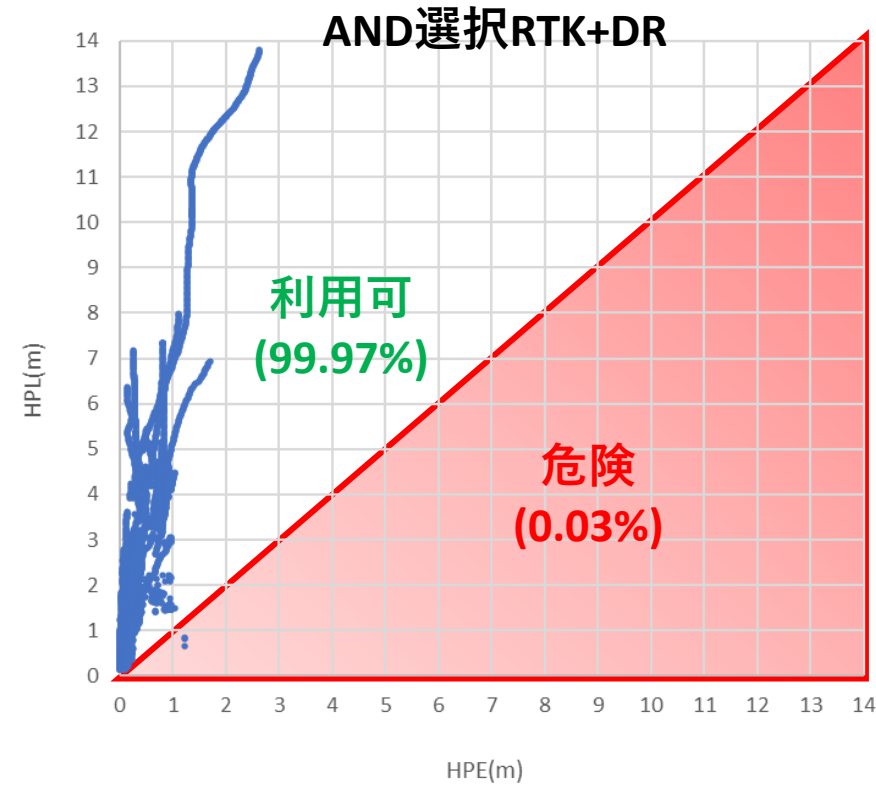
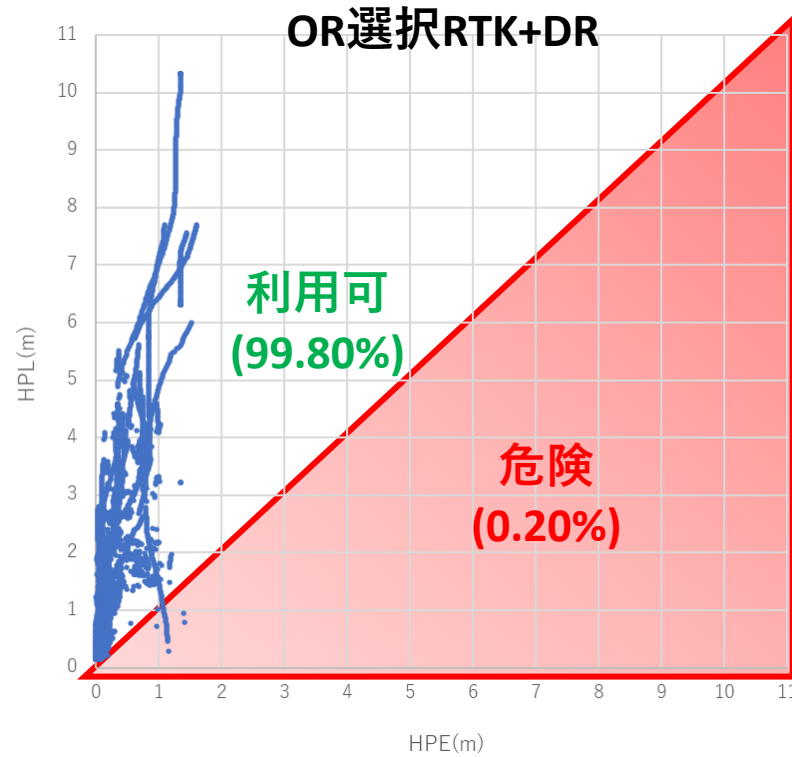
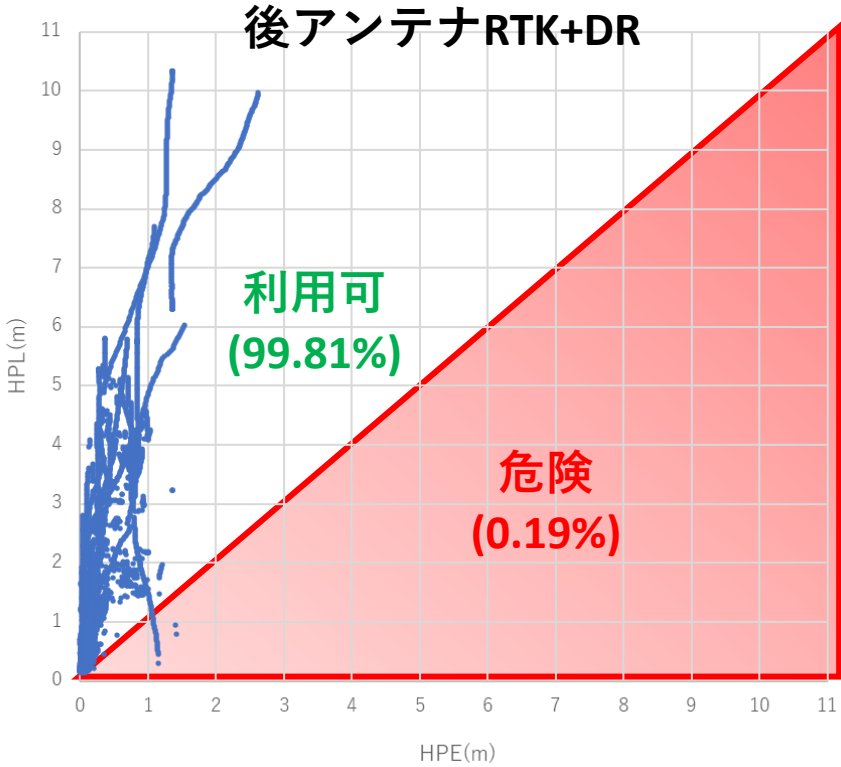
# 3. インテグリティモニタリング



2022.06/24 実験環境	
実験時間	14:47:48~15:25:18
実験場所	東京駅周辺~東京海洋大学
GNSS受信機	Ublox社 ZED-F9P
IMU	STMicroelectronics社製IMU
真値	POS LVX-125



# 3. インテグリティモニタリング



PL>PE	後アンテナ	OR選択	AND選択
RTK(%)	99.97(6904/6906)	99.96(7669/7672)	99.98(5794/5795)
DR(%)	99.55(4374/4394)	99.45(3608/3628)	99.96(5503/5505)
RTK+DR(%)	99.81(11278/11300)	99.80(11277/11300)	99.97(11297/11300)

PL>PE  
システム利用可

PE>PL  
システム利用危険

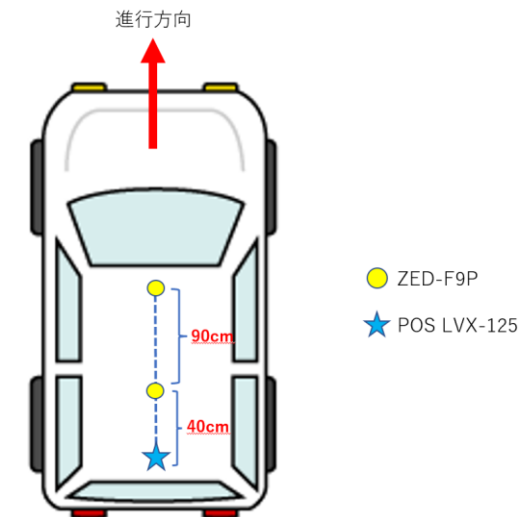




# 3. インテグリティモニタリング

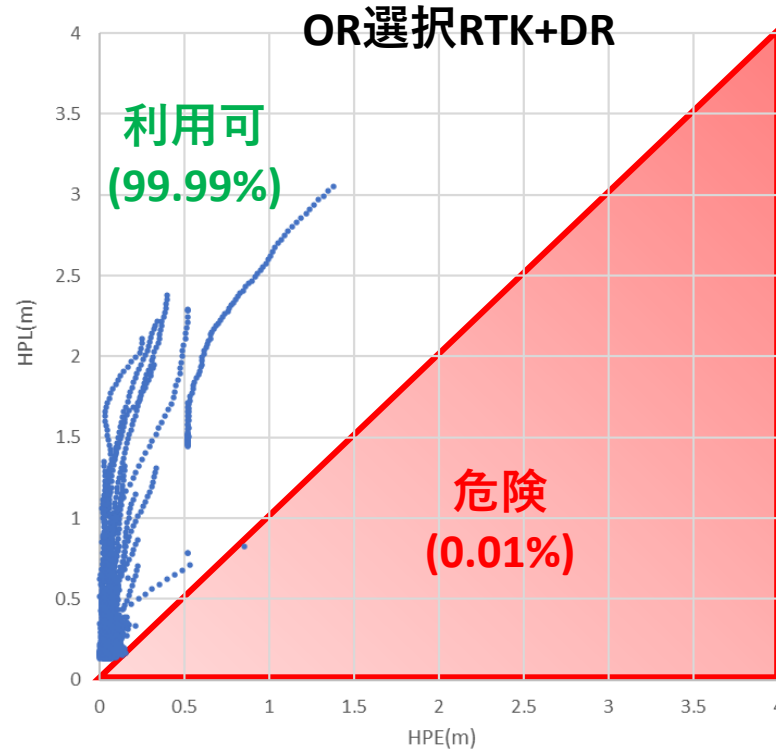
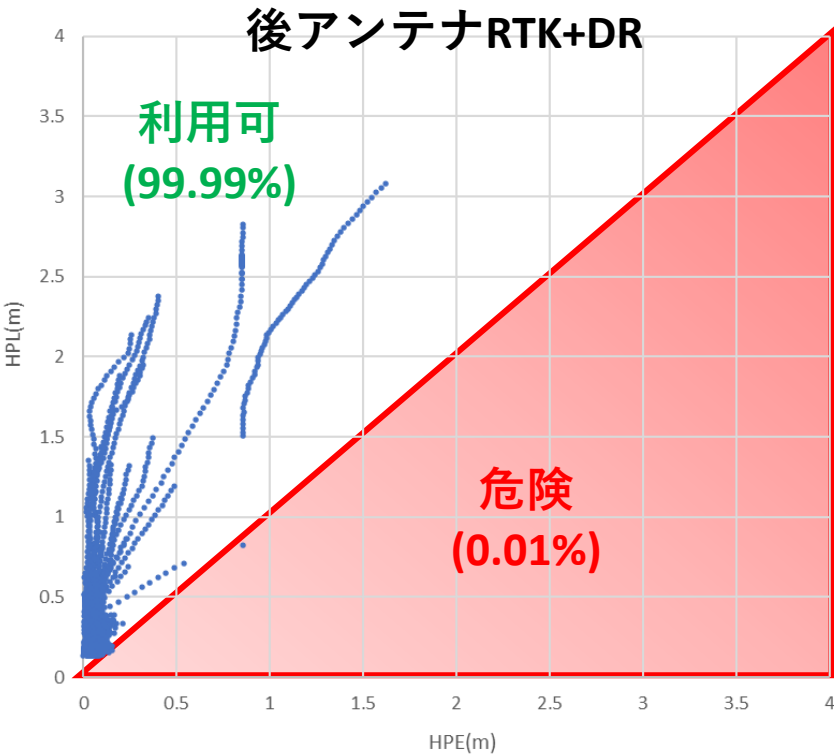


2022.12/28 実験環境	
実験時間	13:41:38~14:08:23
実験場所	月島周辺~東京海洋大学
GNSS受信機	Ublox社 ZED-F9P
IMU	STMicroelectronics社製IMU
真値	POS LVX-125





# 3. インテグリティモニタリング



PL>PE	後アンテナ	OR選択	AND選択
RTK(%)	99.99(6698/6699)	99.99(6851/6852)	100.00(6313/6313)
DR(%)	100.00(1326/1326)	100.00(1173/1173)	100.00(1712/1712)
RTK+DR(%)	99.99(8024/8025)	99.99(8024/8025)	100.00(8025/8025)

PL>PE  
システム利用可

PE>PL  
システム利用危険



## 4. まとめ、今後の課題

- 複数のアンテナを利用することで  
利便性、信頼性を向上させる手法を示すことができた。
- シンプルな手法で測位の信頼度を算出したが  
確率通り保証できていたことが分かった。

### 今後の課題

- ・OR選択によって補間された測位解のミスFIX検知手法の確立
- ・FIX解が得られない区間での信頼度の算出

