

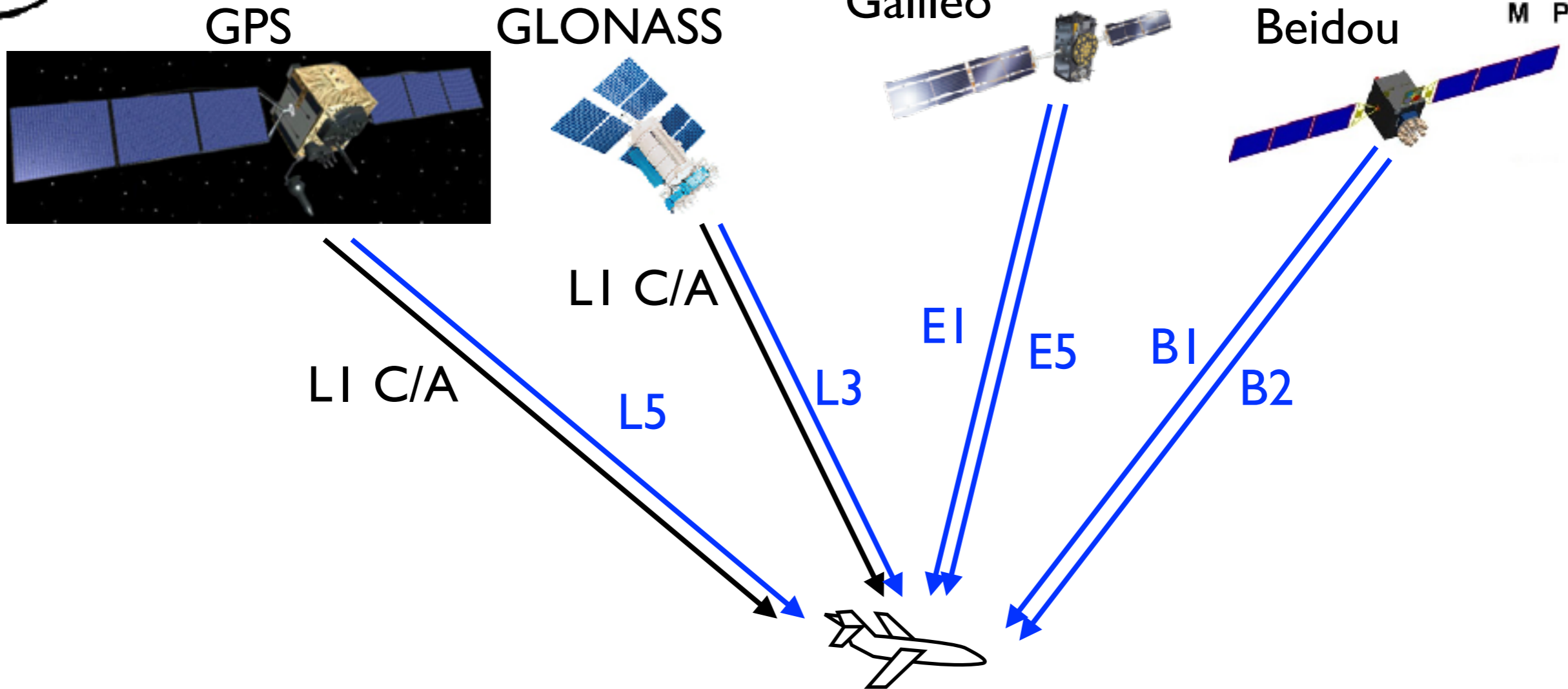


# MC/MF GBAS実験装置の開発

齋藤 享、吉原 貴之

電子航法研究所 航法システム領域

# 航空航法におけるGNSS



- \* GPS/GLONASSの1周波 (L1 C/A)信号のみ標準化
- \* 次世代GNSSではGPS/GLONASS/Galileo/Beidouの2周波信号 (L1/L5(L3))が使用可能になる予定

- \* GAST (GBAS Approach Service Type)-C
  - GPS/GLONASS LI
  - CAT-I
  - SARPs発効：2001年
  - 各国で地上装置実用化進行中
  - B787、747-8等で標準搭載、オプション対応機多数
  
- \* GAST-D
  - GPS/GLONASS LI
  - CAT-II/III
  - SARPs発効：2018年
  - 地上装置プロトタイプ開発済（米、欧、日）
  - 777-X、737-MAXでオプション対応予定

\* GAST-F

- 複数周波数・複数衛星系の信号を使用
- CAT-II/III
- 2026年頃のSARPs発効を目指す

\* 利点

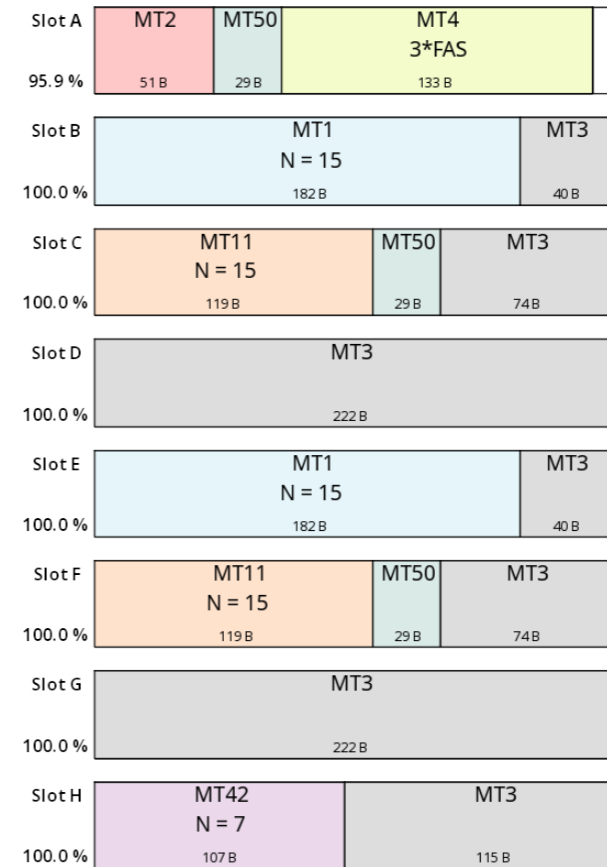
- 複数周波数信号の利用により、電離圏による誤差を除去
- 複数衛星系の利用により、衛星配置の改善、衛星系の故障に対処

\* 課題

- 補強方式は未定

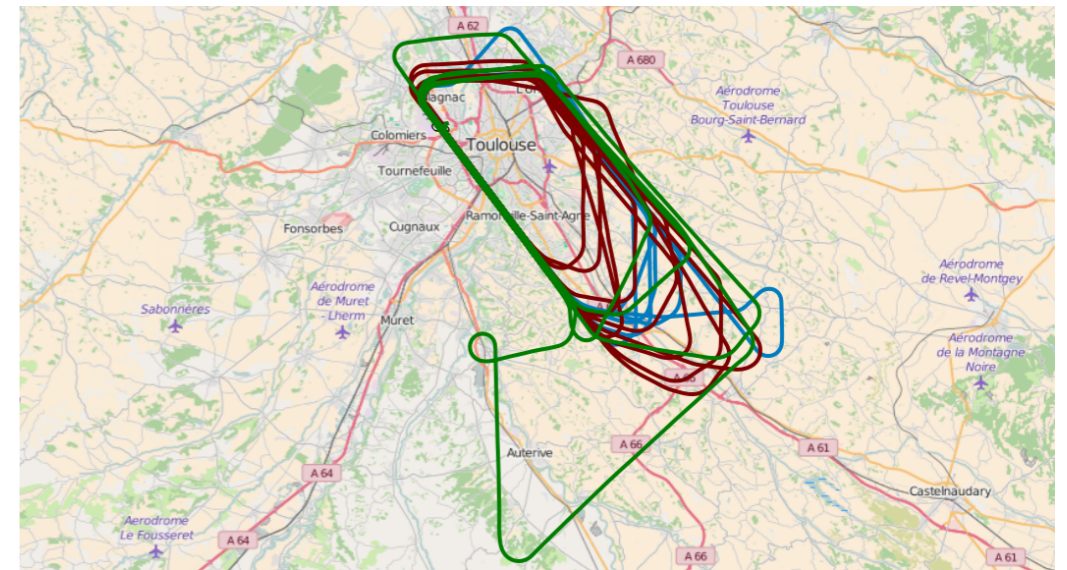
\* SESARの枠組みにおいてコンセプトを検討

- 補強方式
- VDBメッセージ構成
- モックアップ開発
  - コンセプト検証
  - 後方互換性検証
- プロトタイプ開発 (バルセロナ)
  - 長期データ収集・解析
  - 補強方式による性能比較



VDBメッセージ構成案

[Stanisak他, ION GNSS+ 2015]



Toulouseにおける飛行実験  
[Feuerle他, EIWAC2017]

## 2周波電離圏フリー補強方式

- \* 電離圏フリー線形結合により、電離圏遅延を消去した擬似距離を用いて測位

電離圏フリー線形結合

$$\begin{aligned} \text{コード擬似距離 } \rho_{IF} &= (1 + \alpha)\rho_1 - \alpha\rho_5 \\ \text{搬送波位相 } \phi_{IF} &= (1 + \alpha)\phi_1 - \alpha\phi_5 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{1}{(f_1/f_5)^2 - 1}$$

L1/L5周波数比

平滑化擬似距離

$$\tilde{\rho}_{IF,j} = k\rho_{IF,j} + (1 - k)(\tilde{\rho}_{IF,j-1} + \phi_{IF,j} - \phi_{IF,j-1})$$

$$k = \frac{1}{\tau}$$

平滑化  
時定数

雑音増加分  $\sqrt{((1 + \alpha)^2 + \alpha^2)} = 2.58$

- + 電離圏遅延成分(1次項)を数学的に消去
  - ➔ 電離圏異常時の測位性能が向上
- + L5コード擬似距離補正值の追加で実現可能
  - ➔ 補正值メッセージの汎用性が高い
- コード擬似距離線形結合により雑音成分が増加
  - ➔ 通常時の測位性能が劣化



- \* GAST-C/Dと同様のI周波平滑化擬似距離を用いて測位
- \* 2周波補強情報を用いて電離圏異常を監視

平滑化擬似距離

$$\tilde{\rho}_{1,j} = k\rho_{1,j} + (1 - k)(\tilde{\rho}_{1,j-1} + \phi_{1,j} - \phi_{1,j-1})$$

$$k = \frac{1}{\tau}$$

平滑化  
時定数

- + 電離圏フリー線形結合による雑音の増加なし
  - ➡ 大半を占める通常時の測位性能の劣化なし
- + L5コード擬似距離補正值の追加で実現可能
  - ➡ 補正值メッセージの汎用性が高い
- 電離圏勾配による誤差（空間差、コード・キャリア・ダイバージェンスによる誤差蓄積）はGAST-C/Dと同様に存在
  - ➡ 有効な電離圏異常モニタの開発が必要

- \* ダイバージェンスフリー線形結合により、電離圏遅延誤差の蓄積のない擬似距離を用いて測位

ダイバージェンスフリー線形結合

$$\alpha = \frac{1}{(f_1/f_5)^2 - 1}$$

搬送波位相  $\phi_{DF} = \phi_1 + \alpha(\phi_1 - \phi_5)$

平滑化擬似距離

$$\tilde{\rho}_{DF,j} = k\rho_{1,j} + (1 - k)(\tilde{\rho}_{DF,j-1} + \phi_{DF,j} - \phi_{DF,j-1})$$

- + 線形結合は搬送波位相のみであり、雑音の増加は無視できる
  - ➡ 大半を占める通常時の測位性能の劣化なし
- + 電離圏異常誤差の平滑化に伴う蓄積なし
  - ➡ 電離圏異常時の誤差低減
- ダイバージェンスフリー線形結合による専用補正值が必要
  - ➡ VDB伝送帯域の有効活用において不利
- 電離圏遅延空間差による誤差が残る
  - ➡ 一定の電離圏異常モニタが必要



- \* 目的：日本の環境（特に低緯度電離圏環境）に適したMC/MF GBAS方式の開発
  - 補強方式の比較検討（低緯度電離圏擾乱に対する応答特性）
  - MC/MF GNSSに対する低緯度電離圏シンチレーションの影響評価
  - MC/MF GBASに必要なインテグリティモニタの検討
- \* 方法
  - MC/MF GBAS地上・機上実験装置を開発
  - 地上・機上実験による性能評価
  - MC/MF GNSS信号歪みモニタ開発

衛星系	第1周波数	第2周波数
GPS	L1 C/A	L5
GLONASS	L1 C/A	L2
Galileo	E1	E5a
Beidou	L1 C/A	-
QZSS	L1 C/A	L5

- \* GPS/GLONASS/Galileo/Beidouに加えQZSSをGPS L1/L5の補完として使用

- \* 新たなメッセージの定義
  - MT-X1: 電離圏フリー線形結合補正值
  - MT-X2: ダイバージェンスフリー線形結合補正值
  - MT-X3: L5信号補正值
  - MT-Y: 衛星の使用可能性フラグ
- ✓ メッセージフォーマットはSESARの研究成果[Stanisak他, 2015]を踏襲
- \* MT-2をMC/MF対応に修正
  - Ground Station Accuracy Designator (GAD)拡張
  - Ground Continuity/Integrity Designator (GCID)拡張
  - MT-2 Additional Data BlockのK値の名称変更
- \* MT-4をMC/MF対応に修正
  - Approach Performance Designator (APD)拡張

MC/MF GBAS

File View Measure Tools

Time: 2019/06/06 04:09

Select Satellite/Frequency **使用衛星系・信号**

GPS(L1)	Galileo(E5)
GPS(L1)	Galileo(E5) ← <b>GPS/Galileo L1/L5</b>

GNSS Receiver List

Station	Reference	Name	Status	Sat (L1)	Sat (L5)
Base01	Ref1	Trimble NetR9		0	0
Base02	Ref2	Trimble NetR9		0	0
Base03	Ref3	Trimble NetR9		0	0
Base04	Ref4	Trimble NetR9		0	0
Base05		Trimble NetR9		0	0
User01		NovAtel OEM6		0	0
User02			Not Use	0	0

**基準局・評価用受信機情報**

Status

**GBASメッセージ情報**

GBAS Message Information

GBAS ID	TEST
L5 Collection	L5 PRC/RRC
MT1	
Ranging Source	
Modified Z-Count	
B Value	
MT2	
Cycle	4.0
Receiver	4
Accuracy Designator	GAD-C
GBAS Designator	FAST-F
Slot Group Definition	1
MT4	
Cycle	4.0
Airport-ID	RJSS
FAS Block	1
MT11	
Ranging Source	
Modified Z-Count	
MTX(44/46/42)	
Num of Frame	
Ranging Source	
Modified Z-Count	
B Value	
MTY(50)	
1st	
Num of L5 correction	
Num of DualFreq collection	
2nd	
Num of L5 correction	
Num of DualFreq collection	

**L5信号補正值を放送 (MT-X3)**

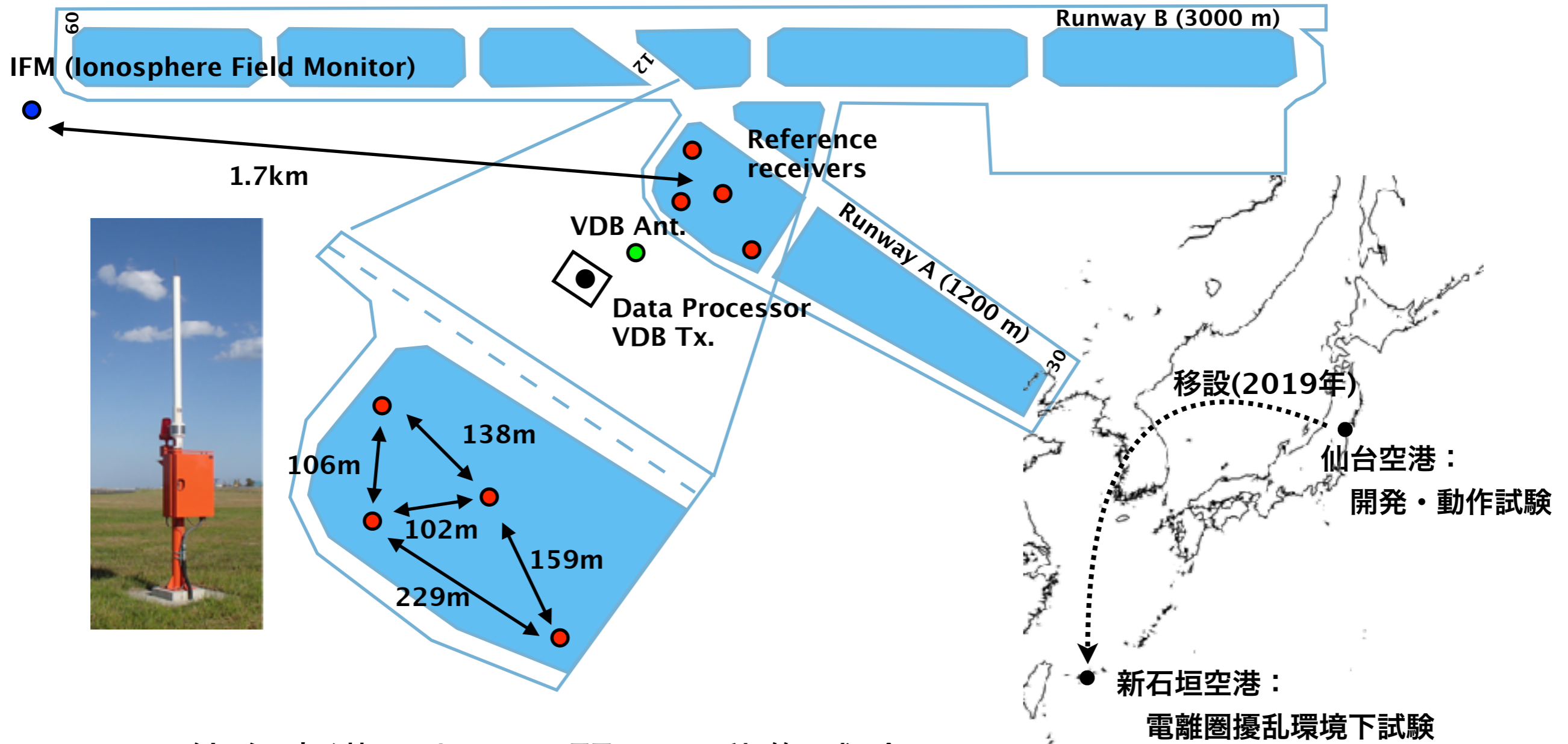
VDB Frequer 115.2500 MHz

VDB Send Last T

VDB Send Slot Information

**VDBスロット使用状況**

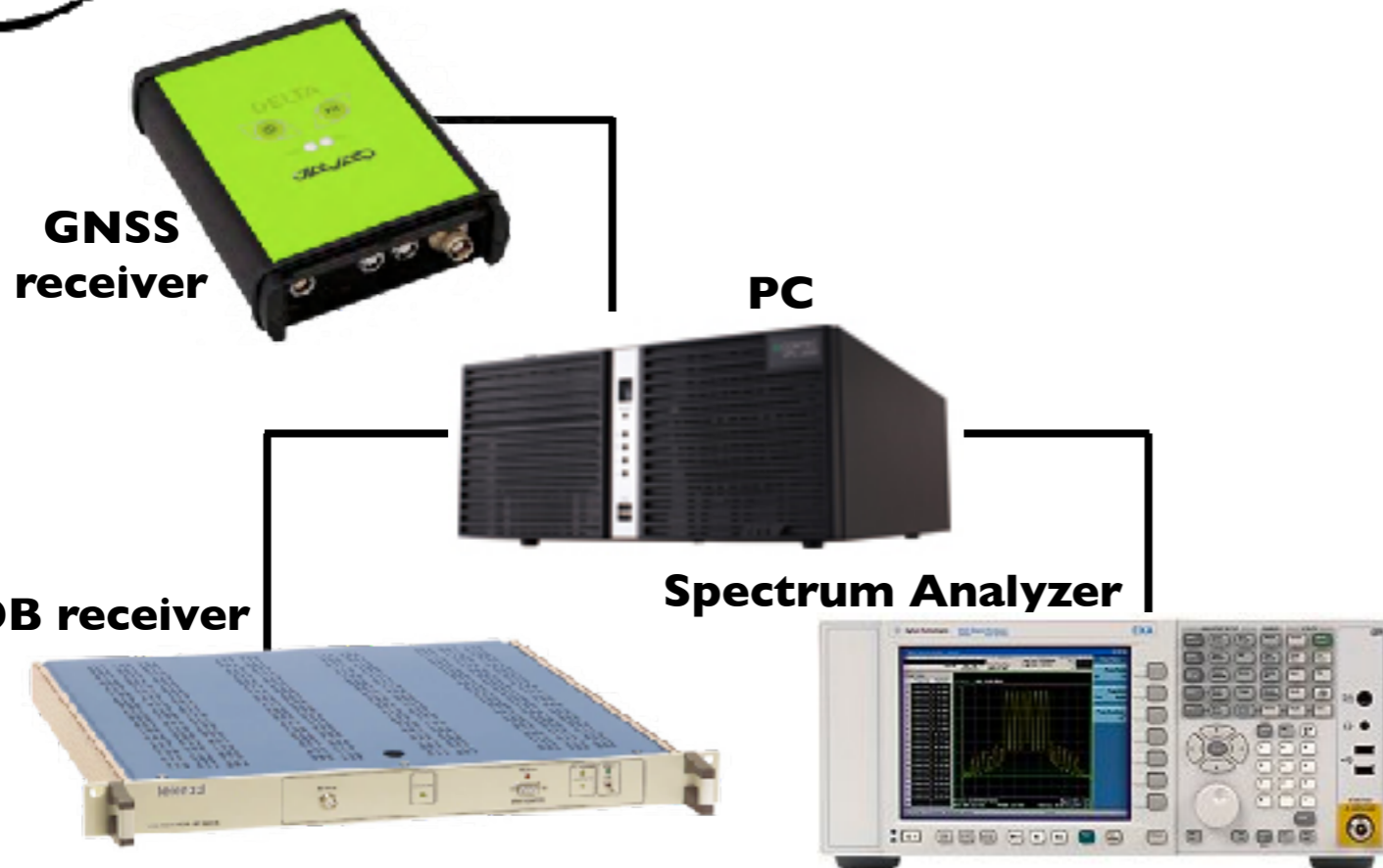
A		H	
R		C	
C		D	
D		F	
F		F	
F		C	
C		H	
H			



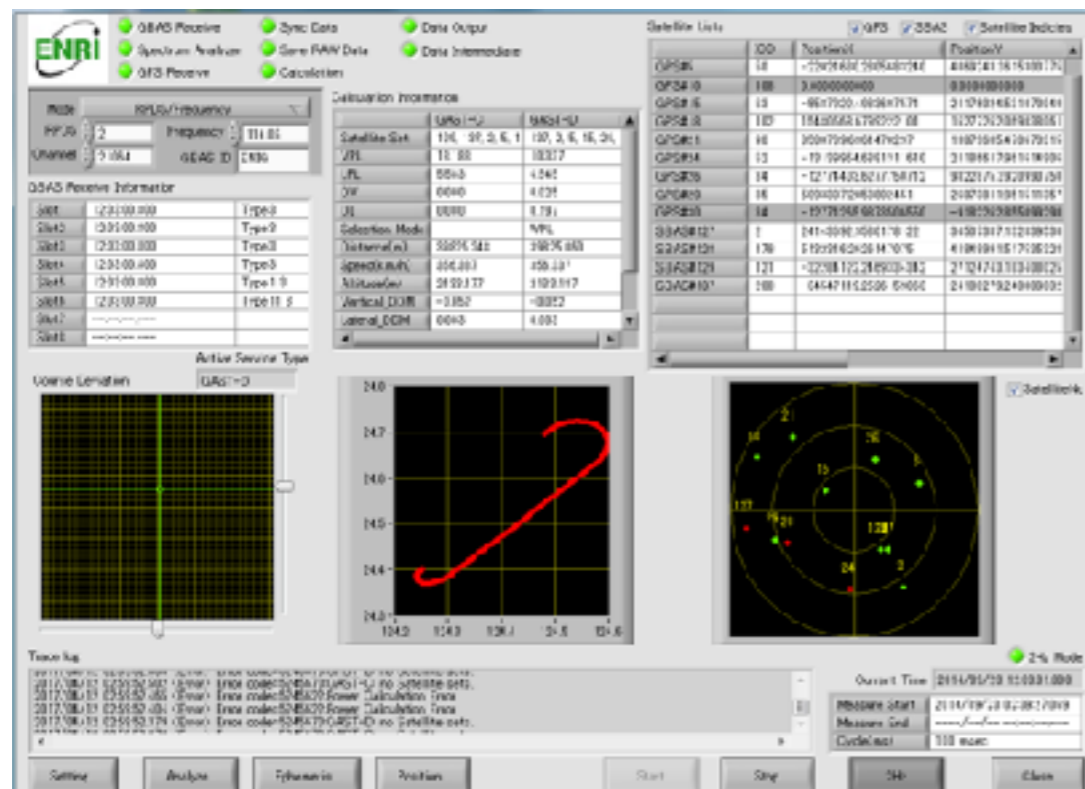
- \* 仙台空港において開発、動作試験
- \* 新石垣空港において、電離圏擾乱環境下で試験

機器	仙台空港	新石垣空港
基準局受信機	Trimble NetR9	
基準局アンテナ	ARL-1900 (MLA)	Javad G3T
擬似ユーザ受信機	NovAtel ProPak6	
擬似ユーザアンテナ	Trimble Choke-ring	
VDB送信機	Telerad EM9009(A)	
VDB送信アンテナ	3素子Alford Loop	3素子折り返しダイポール





GNSS受信機	JAVAD Delta G3T
VDB受信機	Telerad RE9009(A)
スペクトラムアナライザ	Agilent 9010A
GNSSアンテナ (実験用航空機搭載時)	AeroAntenna AT1675- 38I
VDBアンテナ (実験用航空機搭載時)	Comant CI 120-200 G/S-L



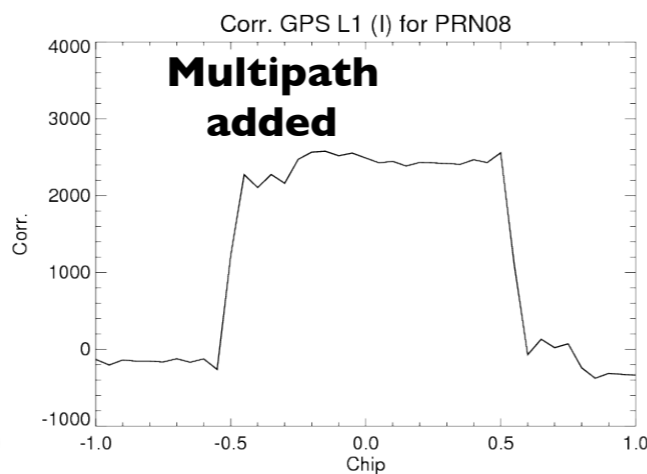
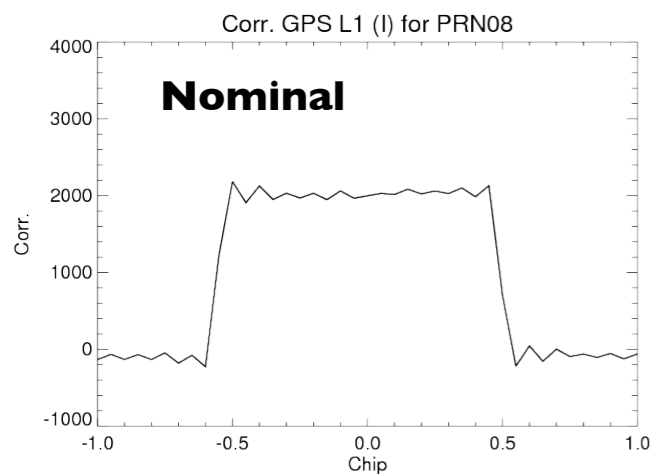
- \* GAST-D GBAS機上実験装置を元に開発
- \* 地上装置の補強方式に合わせて機上補強方式を選択

# MC/MF GBASインテグリティモニタ

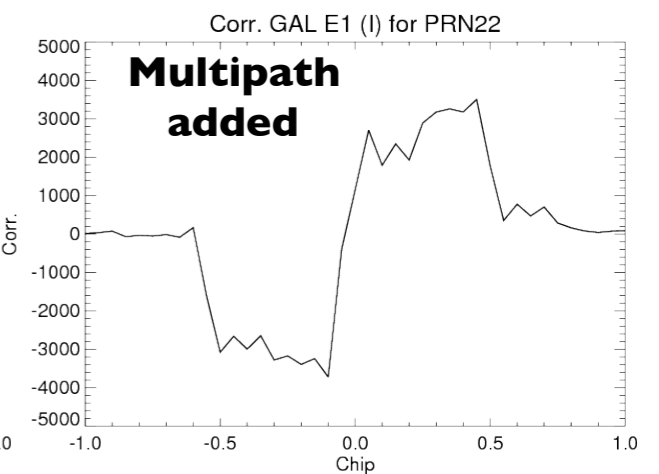
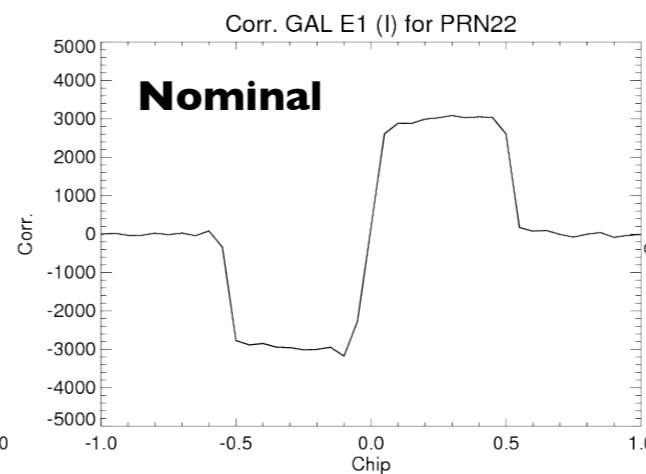
## - MC/MF GNSS信号歪みモニタ

- \* 衛星信号の歪みによる測距誤差を検出
  - 新信号は変調方式、帯域などが既存信号と異なるので、それぞれに対応した信号歪みモニタが必要
- \* ソフトウェア受信機を用いた相関波形測定装置を開発
  - GPS: L1-C/A, L5, Galileo: E1, E5a, QZSS: L1-C/A, L5
- \* 相関波形特性を解析し、MC/MF信号歪みモニタアルゴリズムを開発

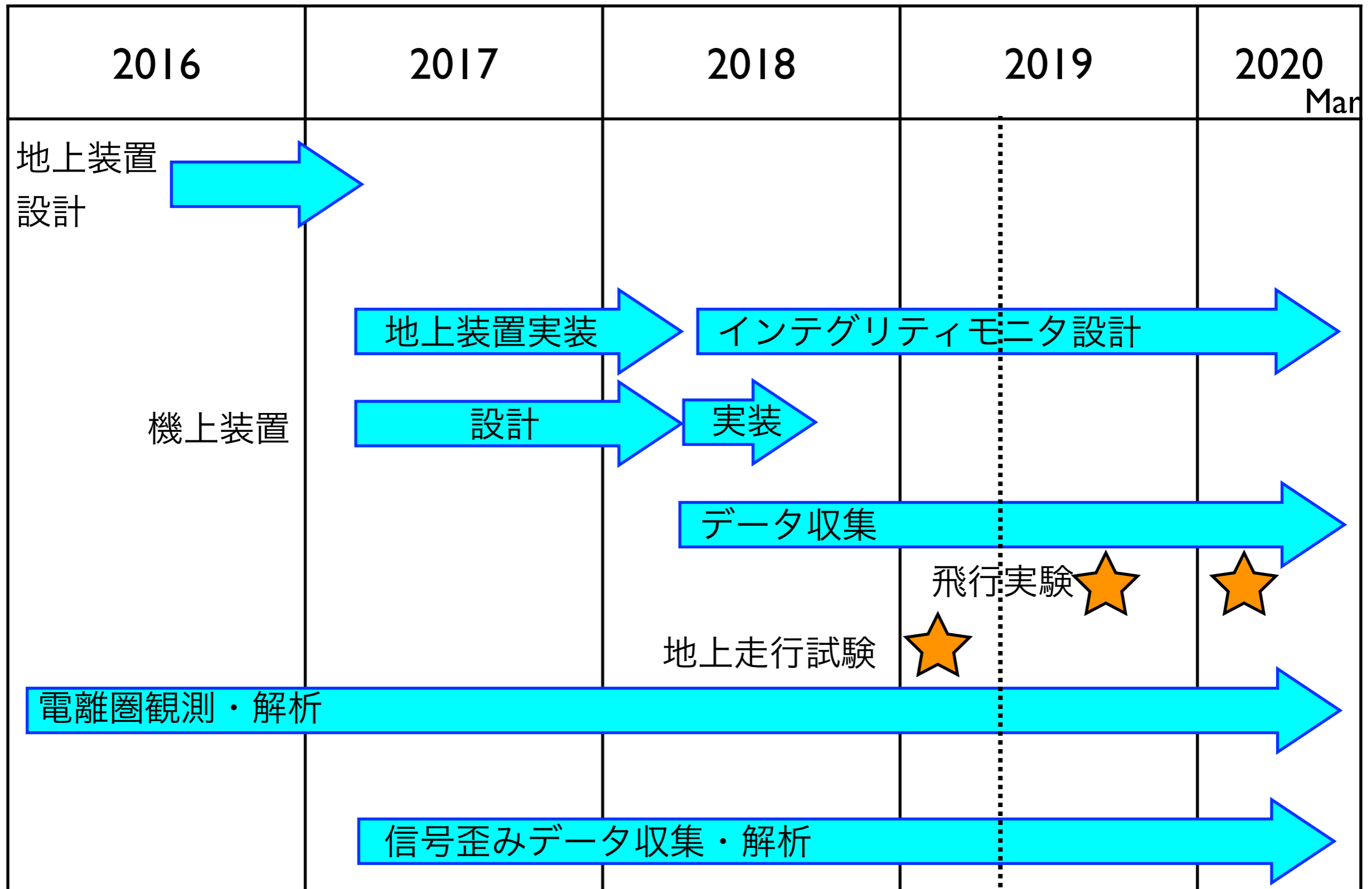
**GPS 08**



**Galileo 22**



# 実験の現状と計画



- \* カテゴリーIII GBAS (GAST-D)の国際標準化が完了し、複数周波数・複数衛星系(MC/MF)対応GBASの国際標準化が開始されている
  - 補強方式など、コンセプト立案の段階
- \* 日本の環境（特に低緯度電離圏環境）に対応したMC/MF GBAS補強方式を検討
  - 3つの補強方式に対応した地上・機上実験装置を開発
  - データ収集を開始、飛行実験を計画
  - MC/MF GBASが日本の環境において性能が最大限発揮できるように、成果を国際標準化に反映させていく