

**航空機開発グローバルプロジェクトリーダー養成講座（略称：GPL 講座）**  
**航空機開発とプロジェクト・マネジメント**  
**——航空機関係テキスト集——**

**教材 10： 航法システムと航空管制技術の動向と課題**

# 航空機の飛行方式 (IFRとVFR)

## 計器飛行方式 (IFR)

飛行経路上を管制官の指示に従う飛行

操縦席から外が全く見えない状態でも、他の航空機や山などの障害物との衝突を避けながら安全に飛行することが可能



# 空域

## 飛行情報区

世界の空を区分し、各国が航空交通業務を担当、領空と隣接する公海上空

## 管制空域

管制区

地表又は水面から200m以上の高さの一定の空域

進入管制区

管制区のうち、管制圏内の飛行場から上昇、降下飛行が行われる一定の空域

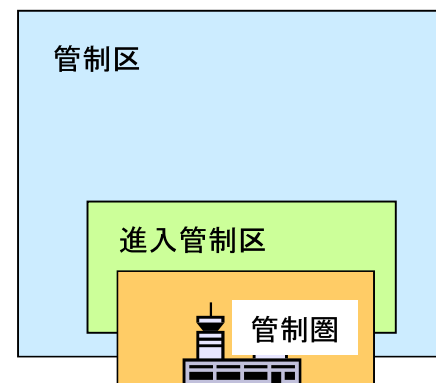
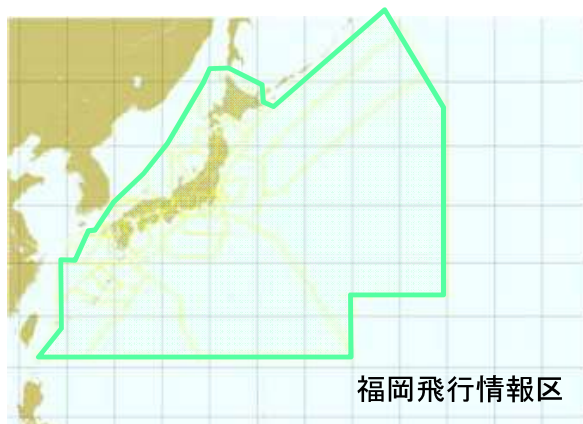
管制圏

飛行場及びその付近の上空の一定の空域

## 非管制空域

管制空域以外の空域

注: 上記空域のうち、自衛隊や米軍が管轄する空域も存在



出典: 国土交通省

# 航空交通システム

管制官  
パイロット  
技術職員

規則、方式  
技術情報  
地図

ADS-C/  
Datalink

(通信  
Communication)

HF/  
VHF

(監視  
Surveillance)

GPS

(航法  
Navigation)

VOR/DME

安全性

効率性

定時性

環境に  
優しい

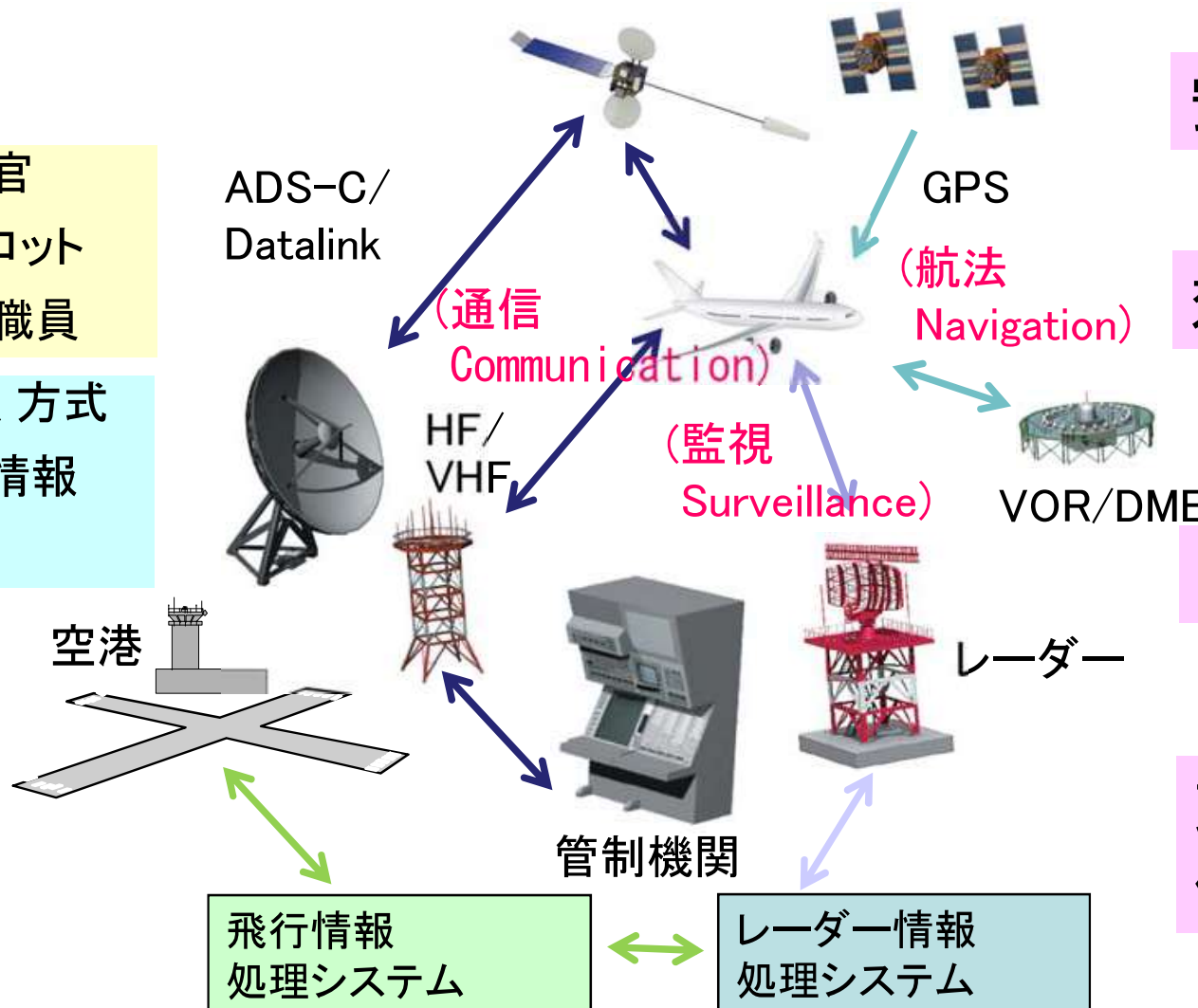
空港

レーダー

管制機関

飛行情報  
処理システム

レーダー情報  
処理システム



# 航空交通を支える業務

## 管制業務（航空管制官）

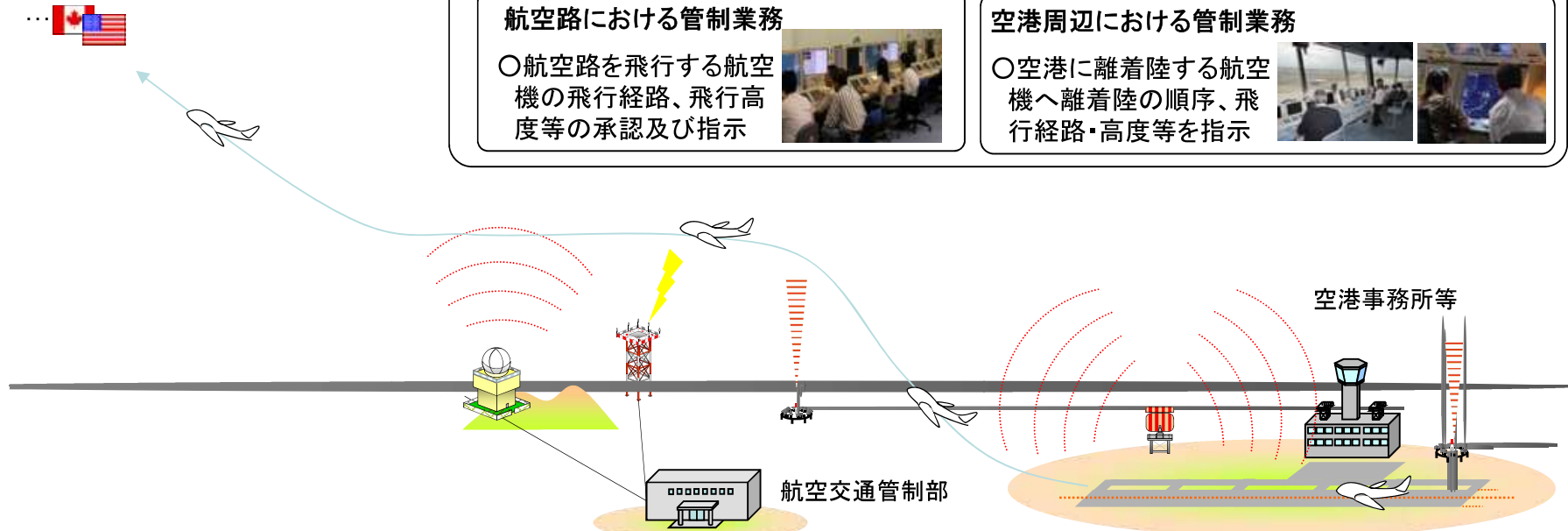
### 航空路における管制業務

- 航空路を飛行する航空機の飛行経路、飛行高度等の承認及び指示



### 空港周辺における管制業務

- 空港に離着陸する航空機へ離着陸の順序、飛行経路・高度等を指示



## 管制技術業務（航空管制技術官）

- 航空機の安全で効率的な運航を確保する航空保安無線施設等（通信・航法・監視（CNS）システム）の開発・整備及び評価・改善
- 上記施設の運転監視及び保守



## 運航情報業務（航空管制運航情報官）

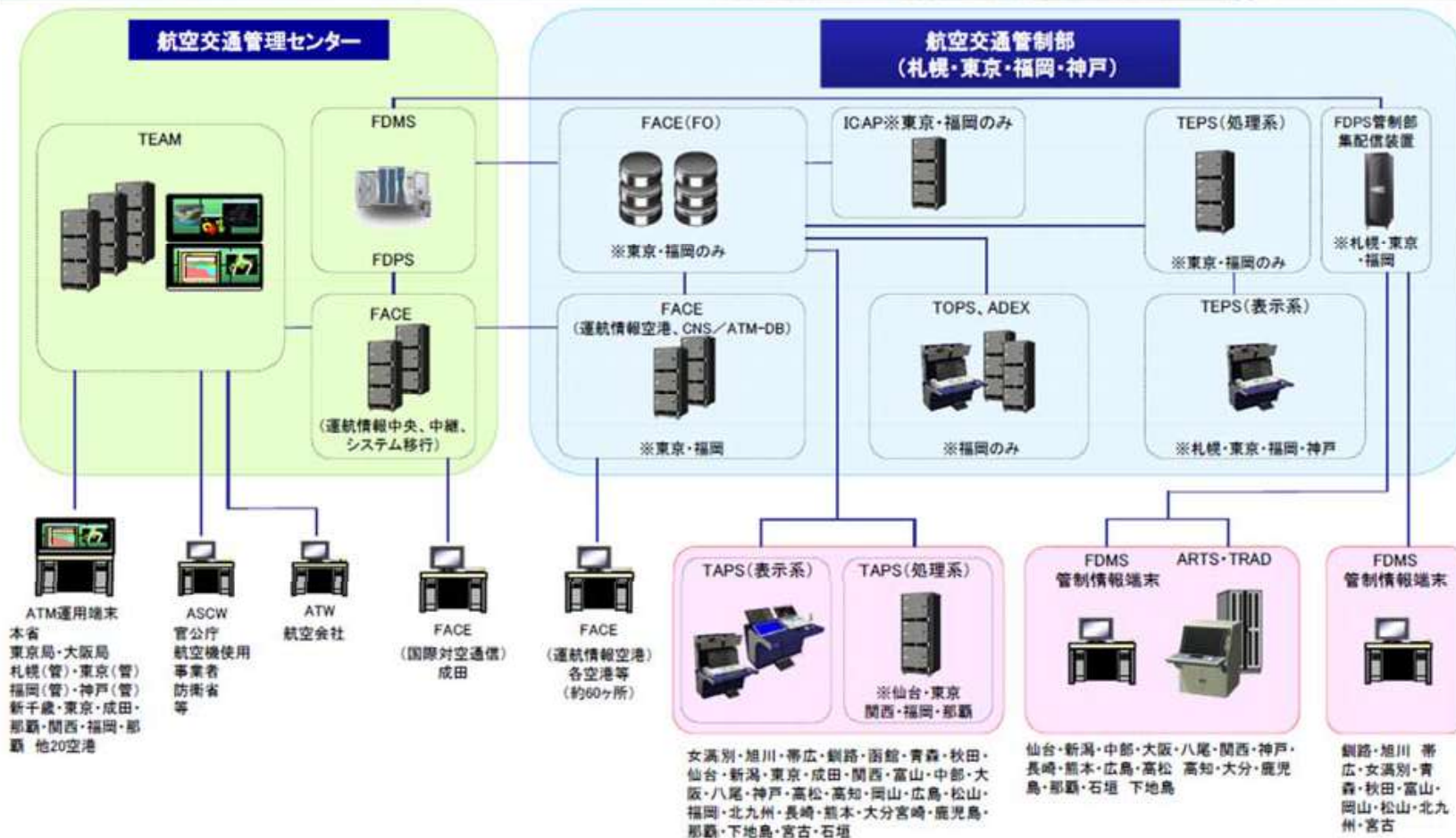
- 飛行計画の審査、運航の監視、搜索救難調整
- 飛行中の航空機に飛行場や気象に関する情報の提供
- 飛行場面の点検
- 航空情報の作成及び提供



出展：国土交通省 航空保安業務の概要

# 管制情報処理システム

## 航空交通管制情報処理システム概念図



ATW : Air Traffic Management Workstation (ATM 端末)  
ASCW : Air Space Coordinating Workstation (空域運用管理端末)

※平成31年4月1日現在(ただし、統合管制情報処理システムについては最終の整備予定官署を記載。)

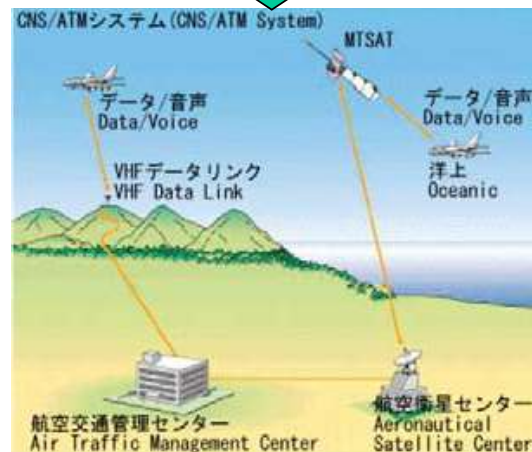
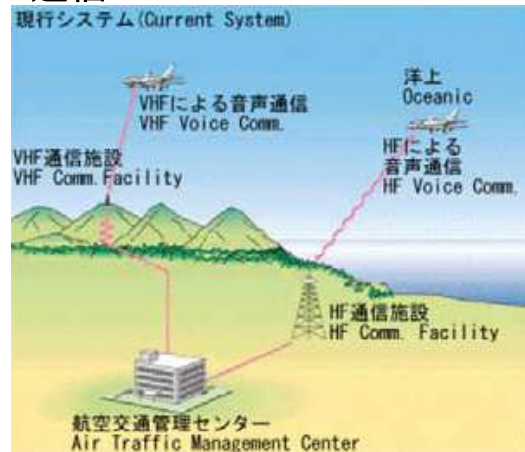
出展：国土交通省 航空保安業務の概要



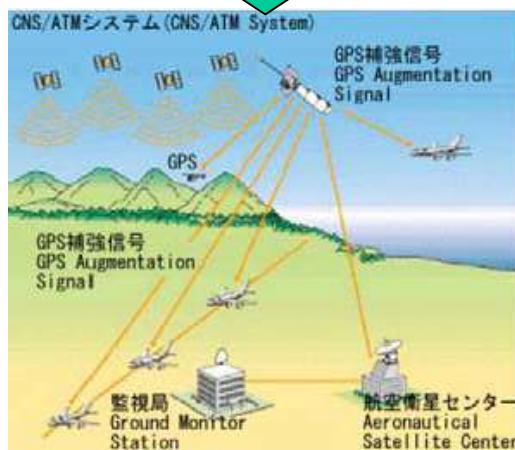
# 航空交通の通信・航法・監視の進化

- ◆ 1983年国際民間航空機関「次世代航空システム(FANS)特別委員会」  
衛星システムや自動化システムを含む新しい航空航法システム

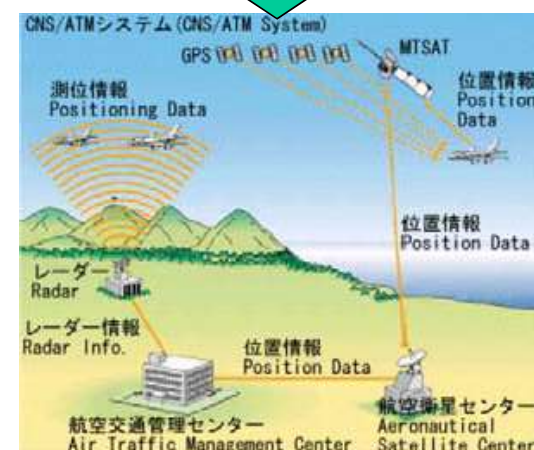
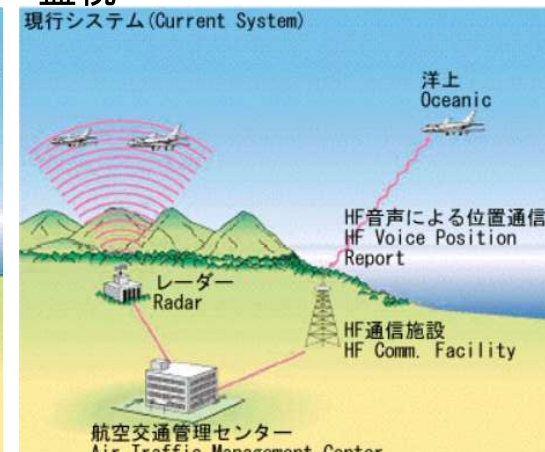
## 通信



## 航法



## 監視



出展：国土交通省 MTSATの機能

# 航法 (Navigation)

## 移動体を目的地へと導く移動経路を示す技術

地文航法

地形的な目印や標識の確認による

測位技術

天測航法

天体観測による

+

推測航法

コースと速度からおおよその位置を推定

情報、データ

+

自律航法

移動体内部の装置のみによる

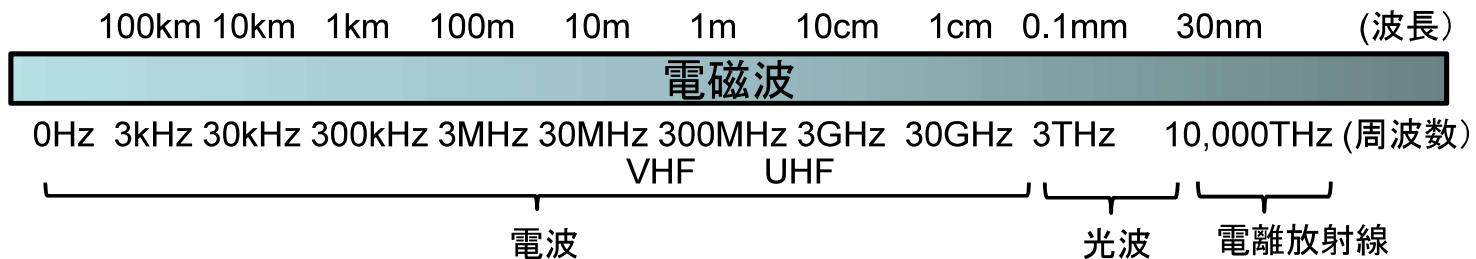
運用規則

電子(電波)航法

電波や電子機器を利用

衛星航法

人工衛星を利用





# 航空機が用いる周波数

Chapter 3. The International  
Telecommunication Union

3-5

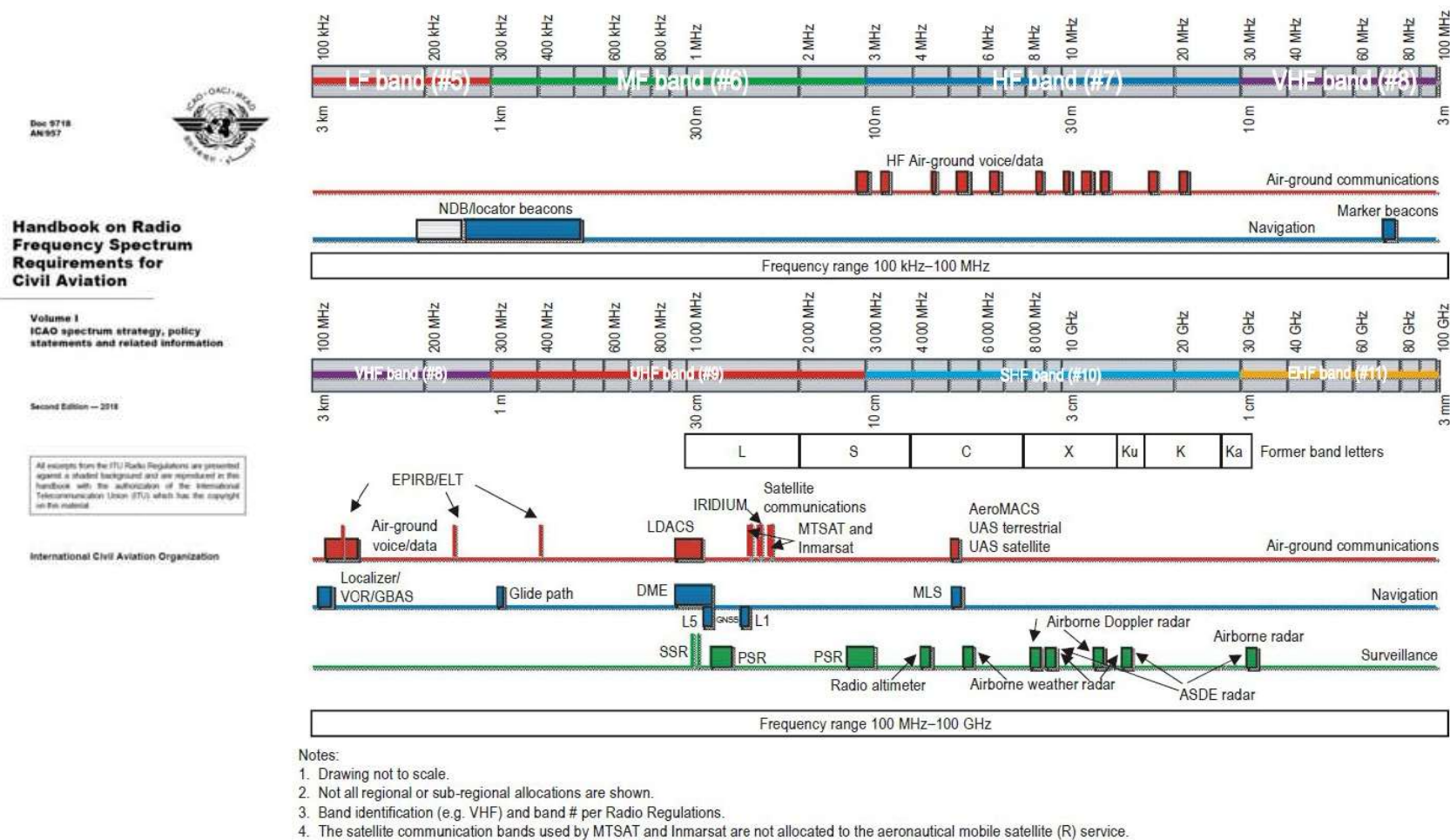
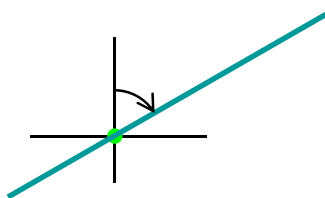


Figure 3-2. Overview of spectrum allocation to aeronautical services

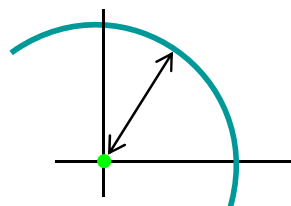
出展: ICAO Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation (Doc 9718 AN/957)

# 航空機の位置決定

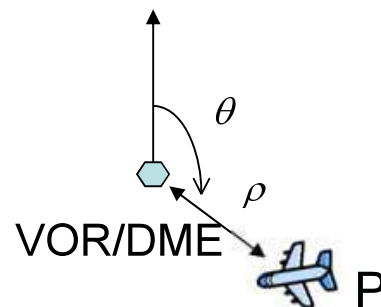
角度一定: 直線



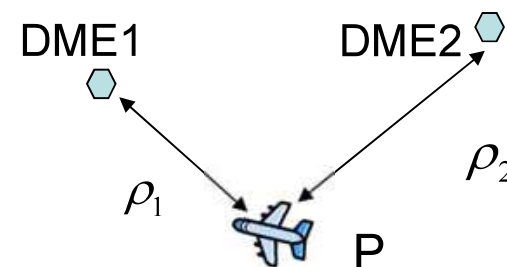
距離一定: 円 (球面)



距離  $\rho$  + 角度  $\theta$

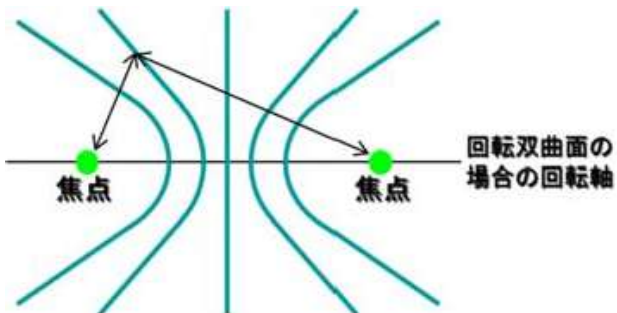


距離  $\rho_1$  + 距離  $\rho_2$

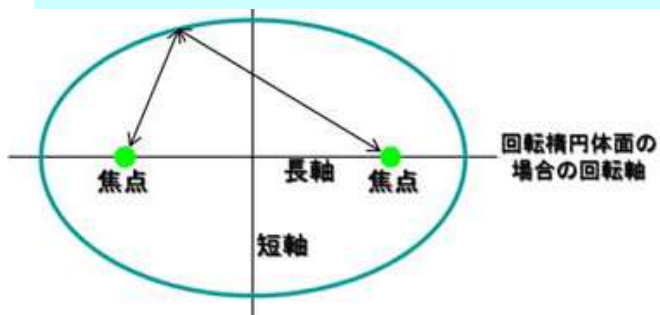


距離  $\rho$  は電波の到達時間  
などから測定する。

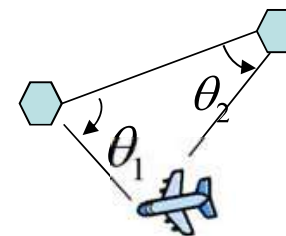
距離の差が一定: 双曲線 (回転双曲面)



距離の和が一定: 楕円 (回転楕円体面)



角度  $\theta_1$  + 角度  $\theta_2$

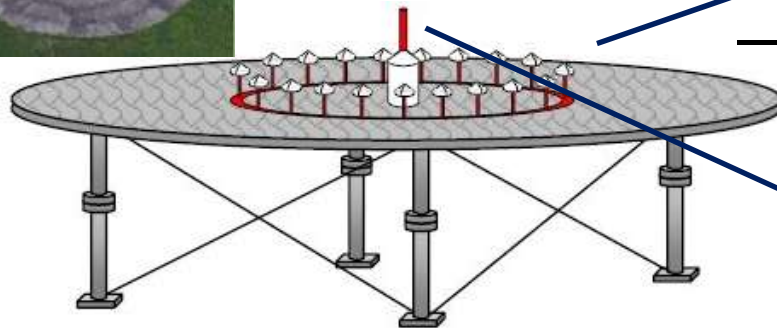


使われない。  
角度は離れると位置誤差が増加するため。

# VOR/DME

- VOR (VHF Omni-directional Radio Range) 方位

108~118MHz 方位精度 $1.4^{\circ}$  (95%)



磁北



基準信号AM変調 30Hz



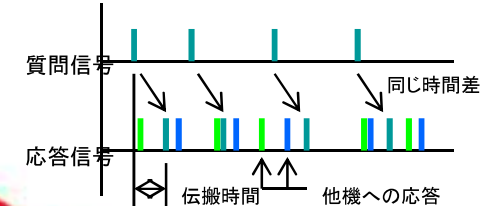
基準信号は、どこで受信しても同じ

可変信号FM変調 30Hz



60度遅れ

可変信号は、受信機の位置によって位相が異なる



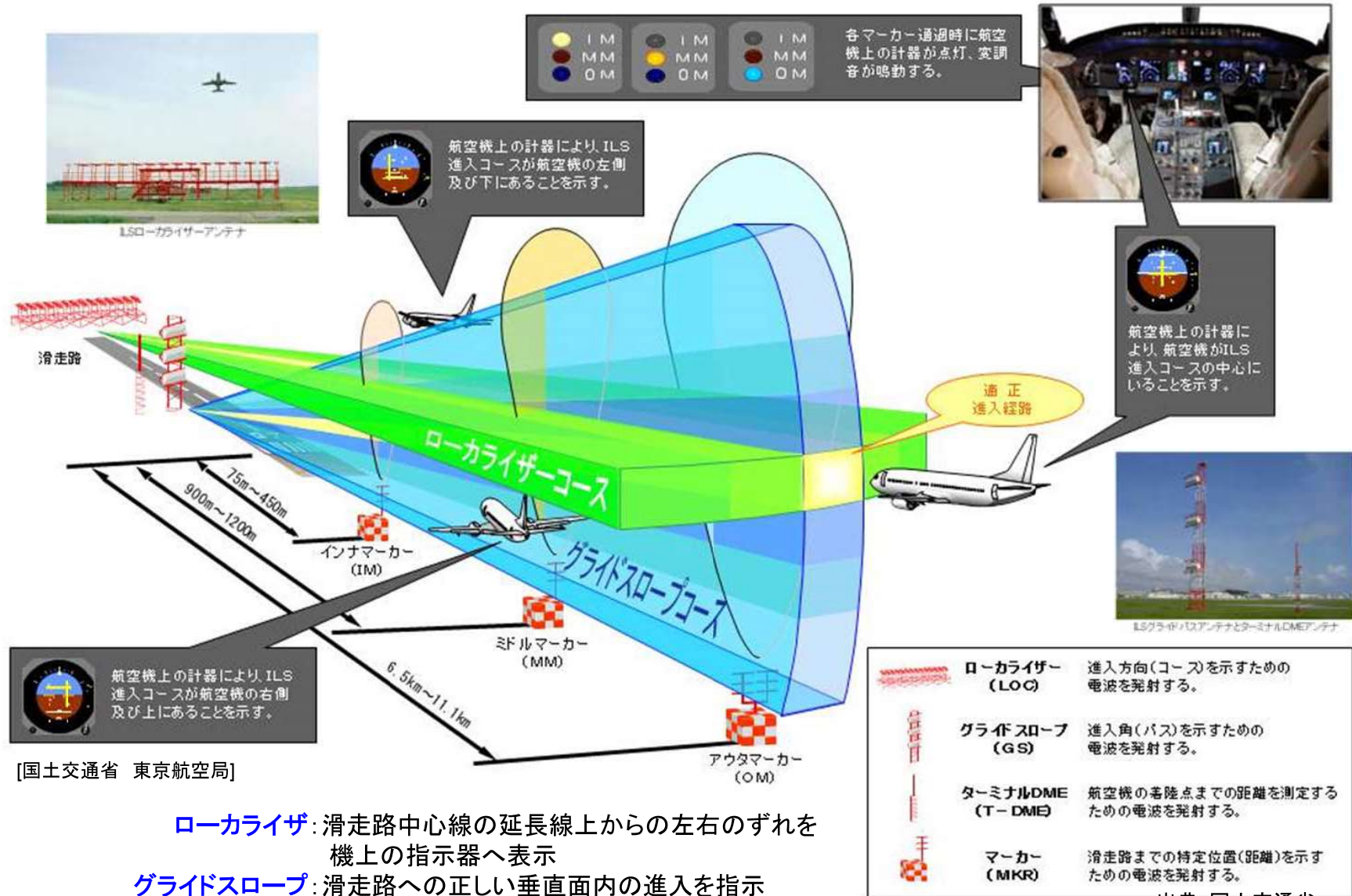
935



- DME (Distance Measuring Equipment) 距離

962-1215MHz 測距精度 0.1NM(95%)

# 計器着陸システム (ILS)



[国土交通省 東京航空局]

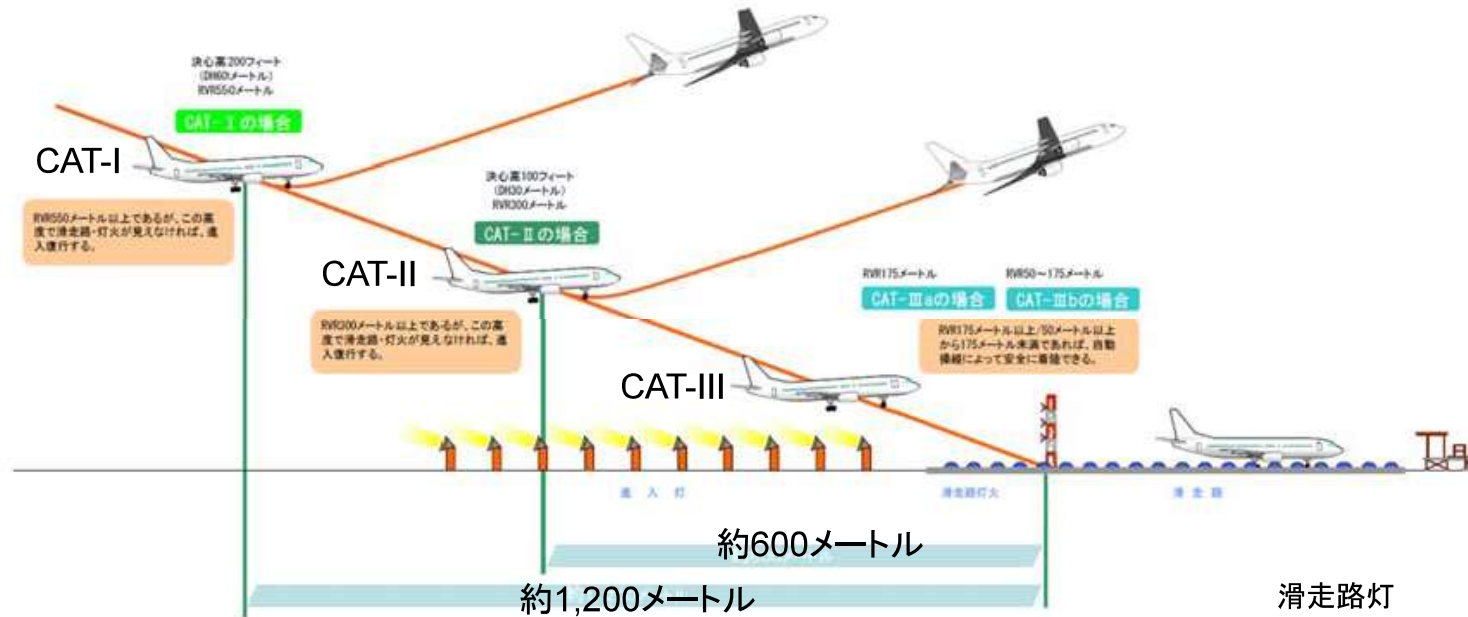
**ローカイザー**: 滑走路中心線の延長線上からの左右のずれを機上の指示器へ表示  
**グライドスロープ**: 滑走路への正しい垂直面内の進入を指示

出典: 国土交通省

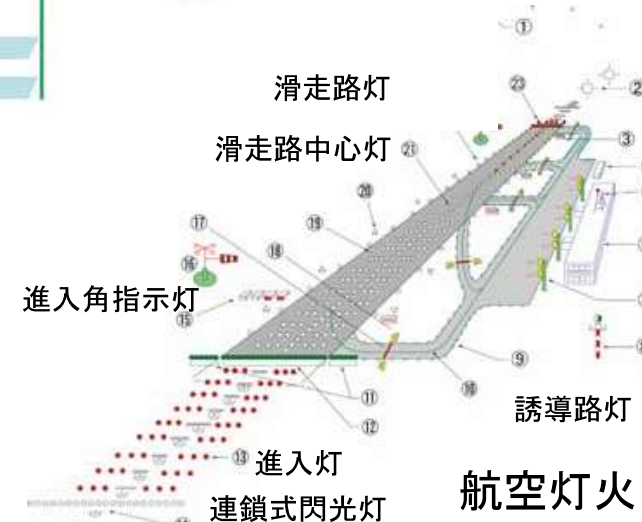


# 精密進入のカテゴリ区分

精密進入：カテゴリにより区分（CAT-I, II 3空港, IIIB 7空港）



カテゴリ	決心高 (DH)	滑走路視距離 (RVR)
CAT I	200 ft 以上	550 m 以上
CAT II	100 ft 以上 200 ft 未満	300 m 以上
CAT III A	100 ft 未満又は設定なし	175 m 以上
CAT III B	50 ft 未満又は設定なし	50 m 以上 175 m 未満
CAT III C	制限なし (国内での設定なし)	



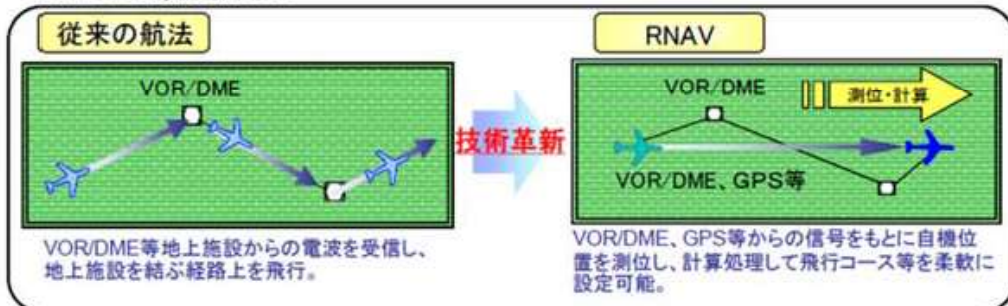
出展：国土交通省 航空保安業務の概要



# RNAV運航方式

## 1. RNAV運航方式

### RNAVの航法原理



RNAV (Area Navigation: 広域航法) は、航空機が搭載するFMS (航法用机上コンピューター) 等により、自機的位置を算出し任意の経路を飛行する航法であり、地上施設 (VOR/DME等) の配置に左右されることのない柔軟な経路設定が可能な運航方式。飛行経路設定時の物理的制約が大幅に緩和される。

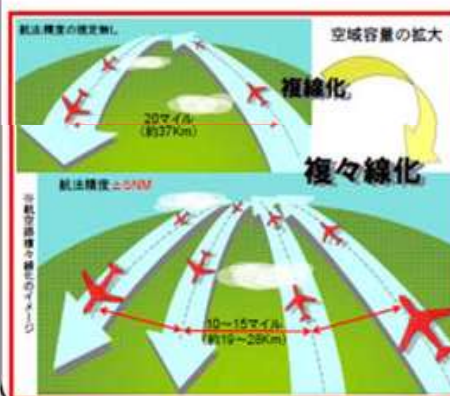
### RNAV経路の一例 (福岡空港到着経路)



## 2. 導入効果

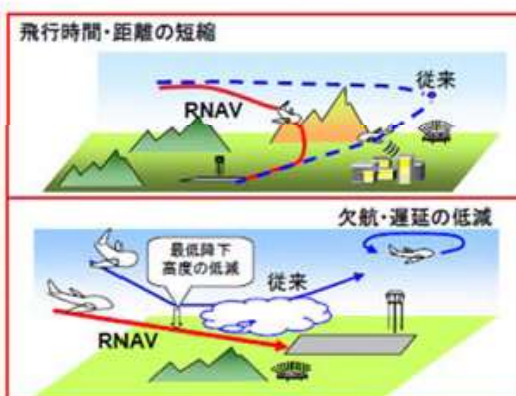
### 空の交通にとって ...

#### 増加する航空需要への対応



### 航空機にとって ...

#### 運航効率・就航率の向上、環境負荷軽減



## 3. 高規格なRNAV

### 空域容量の増大

航法精度を指定することにより従来よりも経路の左右間隔を短縮し、航空路の複雑化や複数線化等により、空域容量の増大を図ることができる。

### 飛行時間・距離の短縮

地上施設の配置に左右されることのない短縮経路が設定可能となることに加え、発着経路が短縮できる可能性があることから、飛行時間の短縮やCO2削減の効果が期待できる。

### 欠航・遅延の低減

特別な着陸のための施設や地形による制約が緩和され、進入ルート、運航条件が改善され、就航率の向上が図られる。

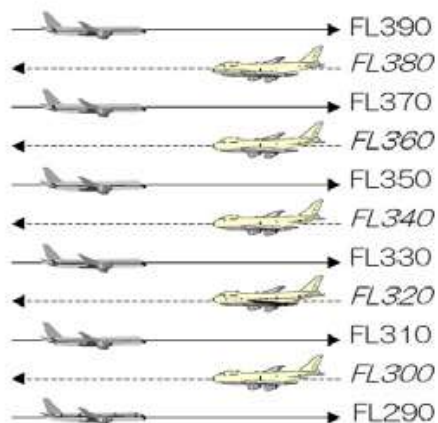
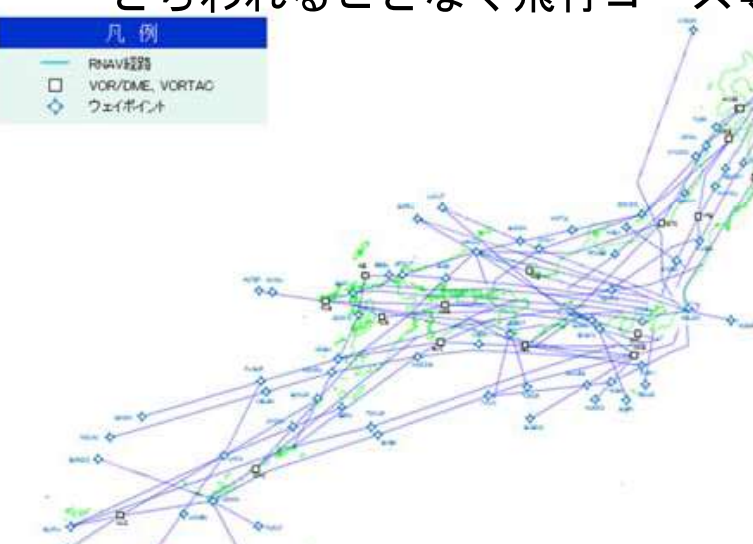
RNP (Required Navigation Performance): RNAVと原理は同じであるが、経路維持監視警報機能を有する機上装置により、レーダー監視空域外でも飛行が可能な方式。

RNPの例  
RNP AR進入  
(AR: Authorization Required)



# 航空路・RNAV経路

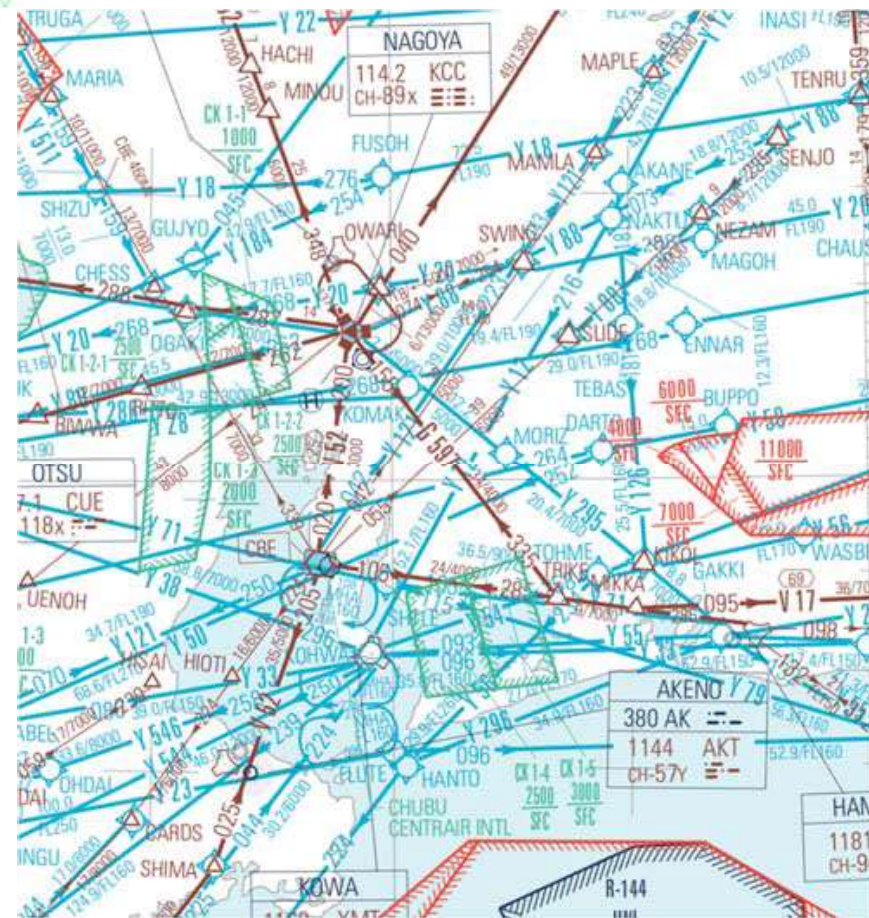
RNAV:GPSを含めた電波を利用して 自機位置を測位し、地上の施設配置にとらわれることなく飛行コース等を設定して飛行することができる方式



ウェイポイント  
アルファベット  
5文字以内  
VOR:3文字

RNAV経路  
'Y'+数字

東行と西行で飛行高度を指定

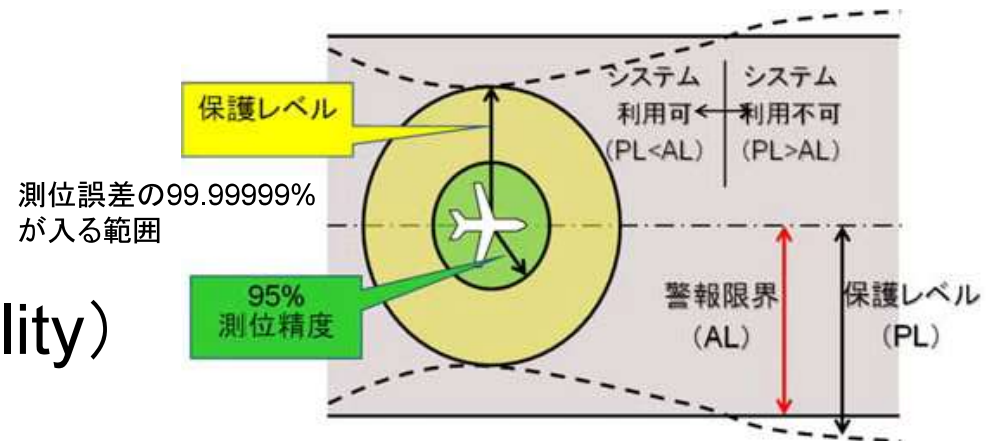


出展：国土交通省



# GNSS航法性能要件

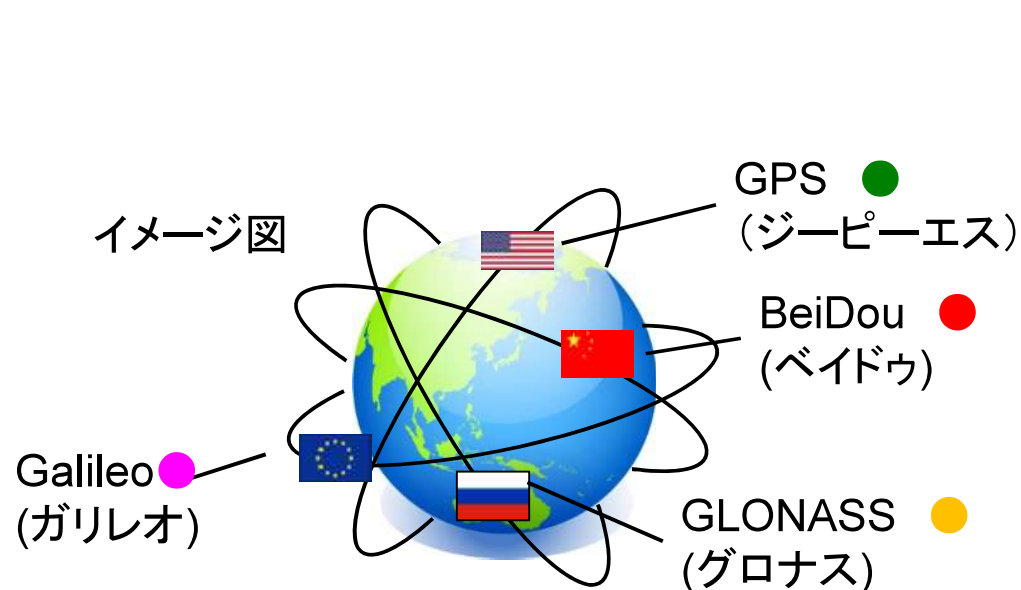
- ◆ 精度 (Accuracy)
- ◆ 完全性 (Integrity)
- ◆ 継続性 (Continuity)
- ◆ 利用可能性 (Availability)



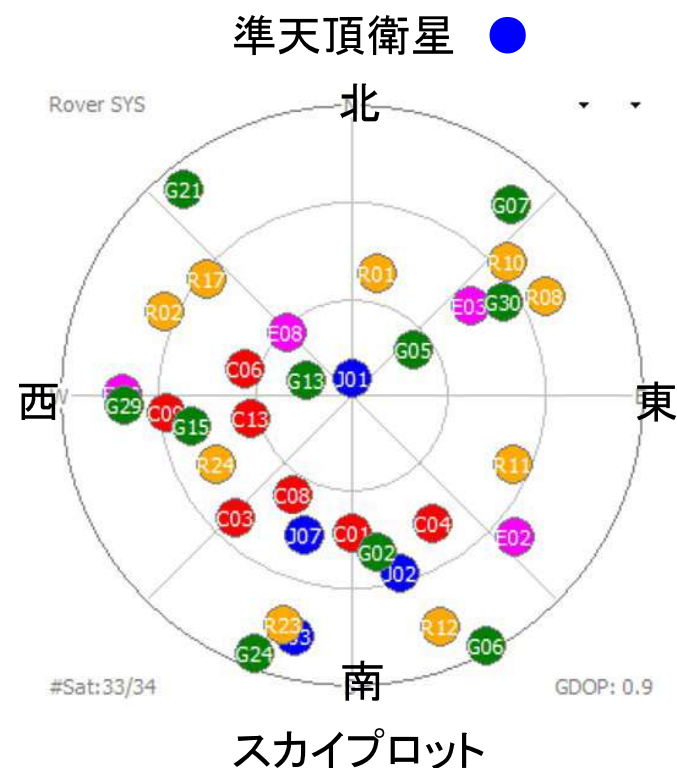
航法モード	水平方向		垂直方向		完全性
	95%精度	警報限界	95%精度	警報限界	
航空路	740 m	3.7 km	—	—	1時間あたり $1-10^{-7}$
ターミナル空域	740 m	1.85 km	—	—	
非精密進入、出発 MDH=250ft	220 m	556 m	—	—	
LPV(垂直誘導付進入) DH=250ft	16 m	40 m	20 m	50 m	1着陸あたり $1-2 \times 10^{-7}$
CAT-I LPV200(DH=200ft)	16 m	40 m	4~6 m	10~35 m	

# 衛星航法システムの利用の拡大

新たな衛星システム、複数周波数の追加を検討



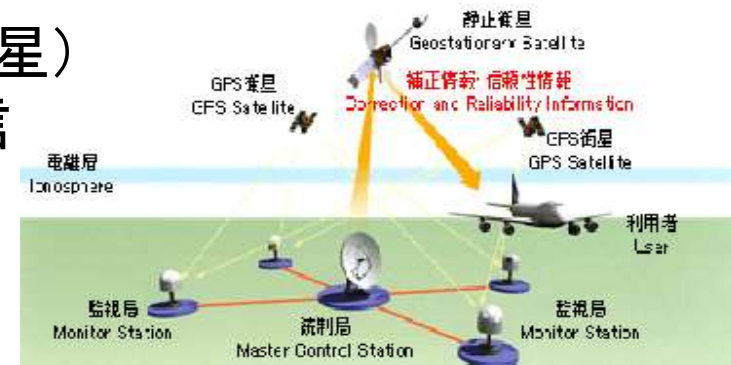
周波数の増加: L1 (1575.42MHz)  
L5 (1176.45MHz)



# 静止衛星型補強システム（SBAS）

- ◆ 静止衛星からL1 C/A信号にて補強情報を送信し、広範囲にわたり有効なインテグリティ情報及びディファレンシャル補正情報を提供
- ◆ 現行規格（L1 SBAS）GPS/GLONASSの一周波数のみ
- ◆ 次世代SBAS（複数システム・複数周波数対応）
  - 複数システム（GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou）の利用による性能改善・ロバスト性の向上
  - 複数周波数（L1帯及びL5帯）の利用による電離圏伝搬遅延の回避
  - SBAS衛星（静止衛星/非静止衛星）からL5信号にて補強情報を送信（L5 SBAS）

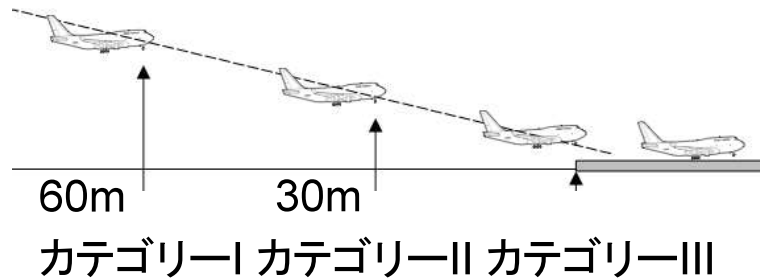
L1 (1575.42MHz): L5 (1176.45MHz)  
C/A(Coarse/Acquisition)



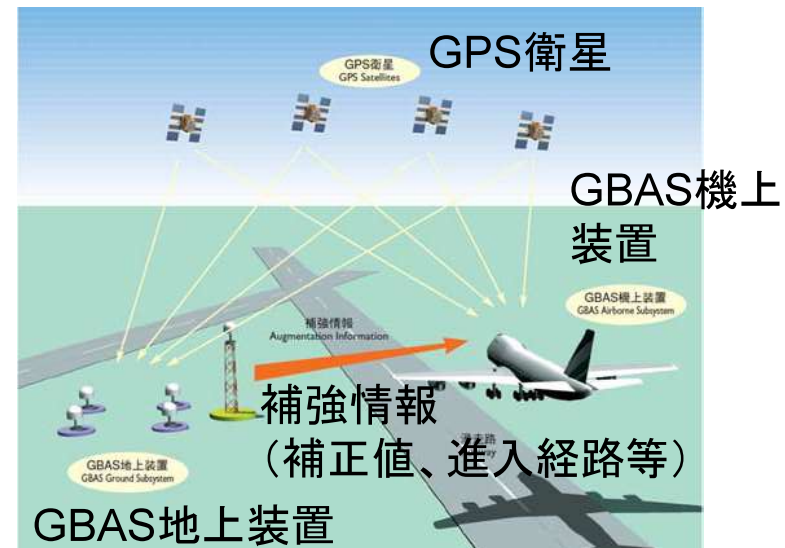


# 地上型衛星航法補強システム(GBAS)

- ◆ 地上の4基の基準局の測定値を基に補強情報を生成し、VHFデータ放送(VDB)により航空機に伝達(空港周辺)
- ◆ 進入経路をデジタル情報として同時に伝達
- ◆ カテゴリー I (地上60m(200ft)まで) ~ III (滑走路離脱まで) に対応可能
- ◆ 柔軟な進入経路設定、複数滑走路のサービスなどの拡張性



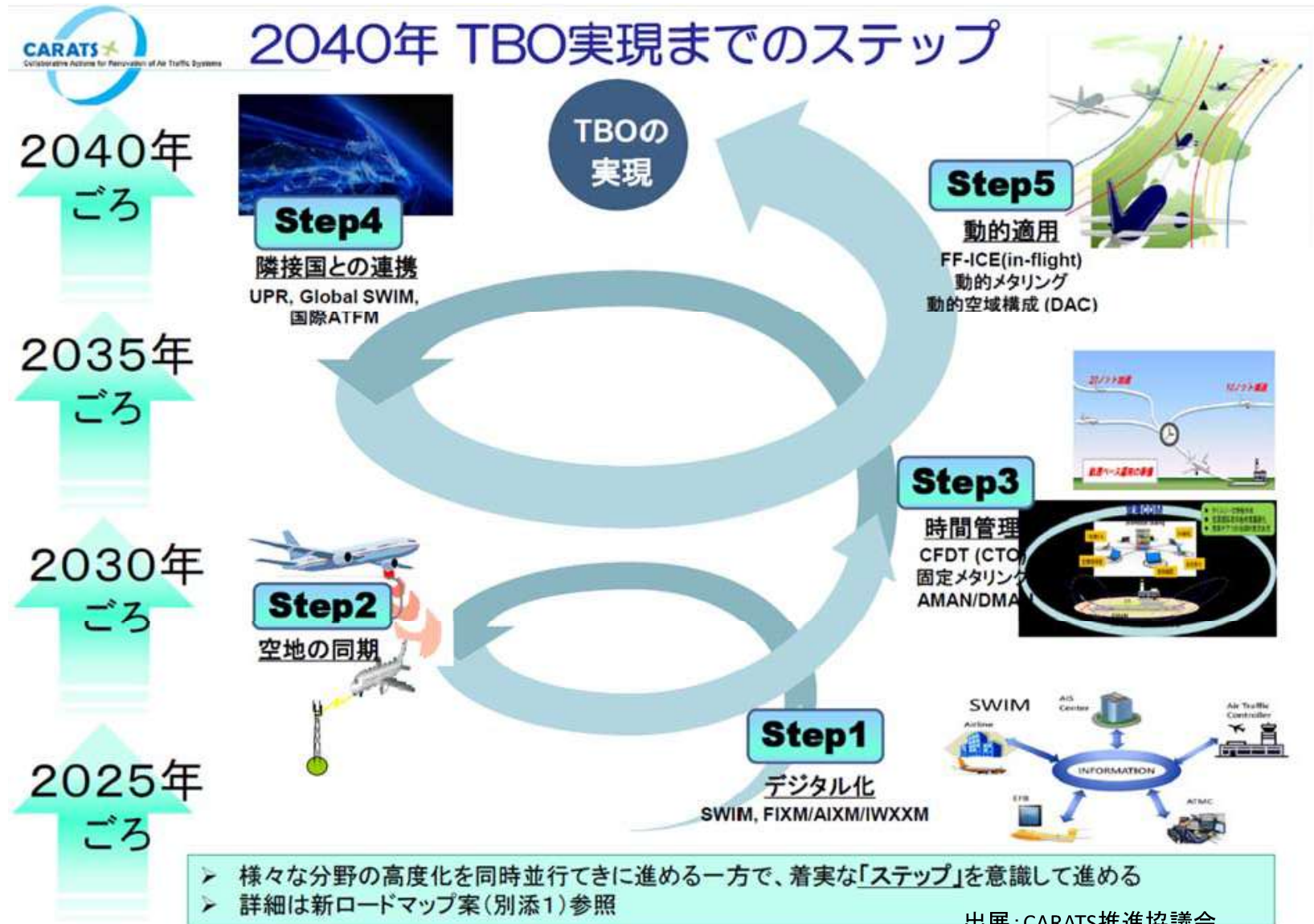
VDB: VHF Data Broadcast



# 将来の航空交通システムに関する推進協議会

- ◆ 2010年 「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン」をとりまとめ
- ◆ 2011年以降 将来の航空交通システムに関する推進協議会（CARATS推進協議会）を毎年開催し、将来の航空交通システムの構築に向けた検討
- ◆ 2015年 航空交通分野の研究開発に有用な定期航空便の時刻・位置等の航跡データ（CARATS Open Data）を提供開始
- ◆ 推進協議会委員（2020年3月）
  - 座長：屋井鉄雄（東京工業大学）
  - （学識経験者）東京工業大学、東京大学、首都大学東京、茨城大学
  - （運航者）全日本航空事業連合会、日本航空機操縦士協会、定期航空協会
  - （研究機関）宇宙航空研究開発機構、海上・港湾・航空技術研究所
  - （航空関連メーカ等）日本電気（株）、東芝インフラシステムズ（株）、日本無線（株）、日本航空宇宙工業会、沖電気工業（株）、三菱電機（株）、（株）NTTデータ
  - （関係省庁）防衛省、気象庁
  - （事務局）国土交通省航空局交通管制部交通管制企画課 CARATS事務局

# 軌道ベース運用の実現までのステップ



- 様々な分野の高度化を同時並行てきに進める一方で、着実な「ステップ」を意識して進める
- 詳細は新ロードマップ案(別添1)参照