

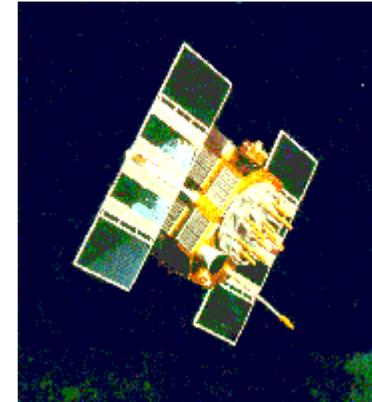


GNSS及びMSASの概要

国土交通省 航空局
管制保安部 無線課

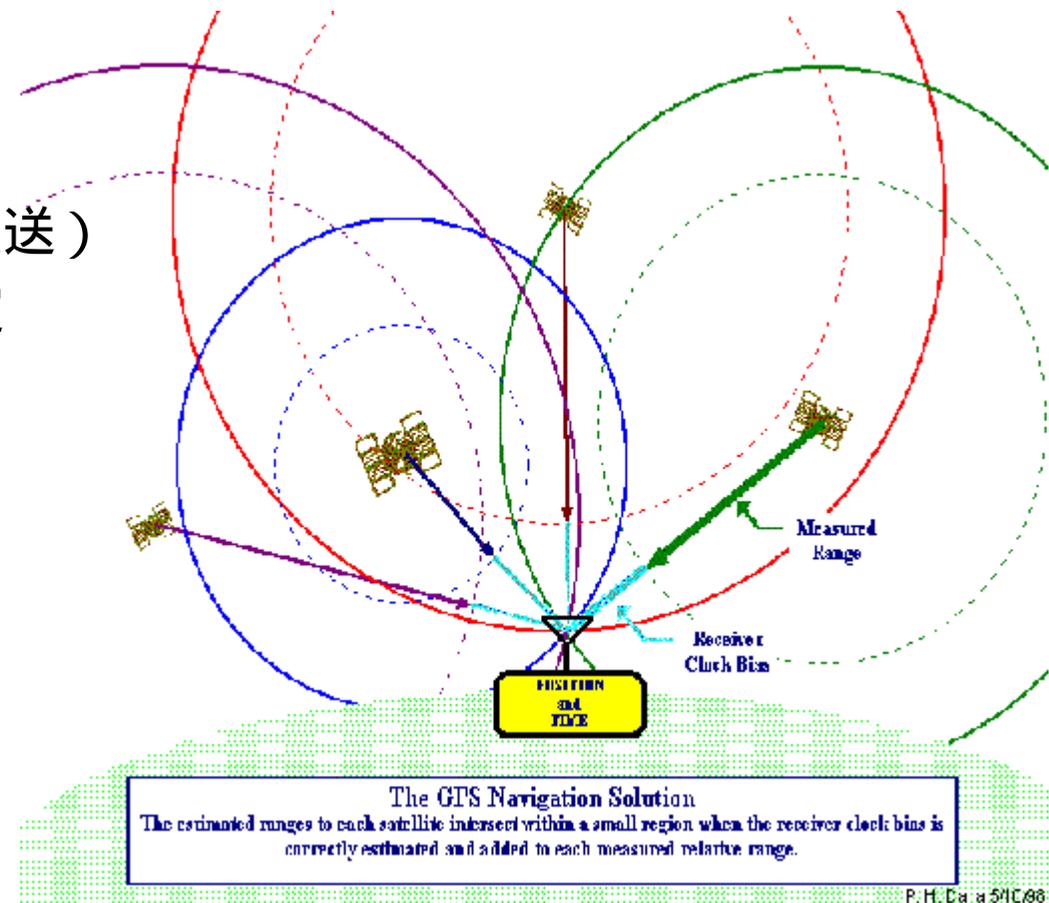
GPSの概要

- 衛星の通称 NAVSTAR/GPS
- 衛星総数 24
- 軌道高度 約20,200km (軌道半径 約26,600km)
- 周回周期 約11時間58分02秒 (0.5恒星日)
- 衛星の軌道面 6面 (1面に4衛星ずつを配置)
- 衛星重量 844kg
- 測位用電波
 - L1帯(1575.42MHz) C/A 480W P(Y) 240W
 - L2帯(1227.6MHz) P(Y) 81W
- 基準発信器 10.23MHz
 - セシウム原子周波数標準 2台 (安定度 10^{-13})
 - ルビジウム原子周波数標準 2台
 - 予備水晶発振器

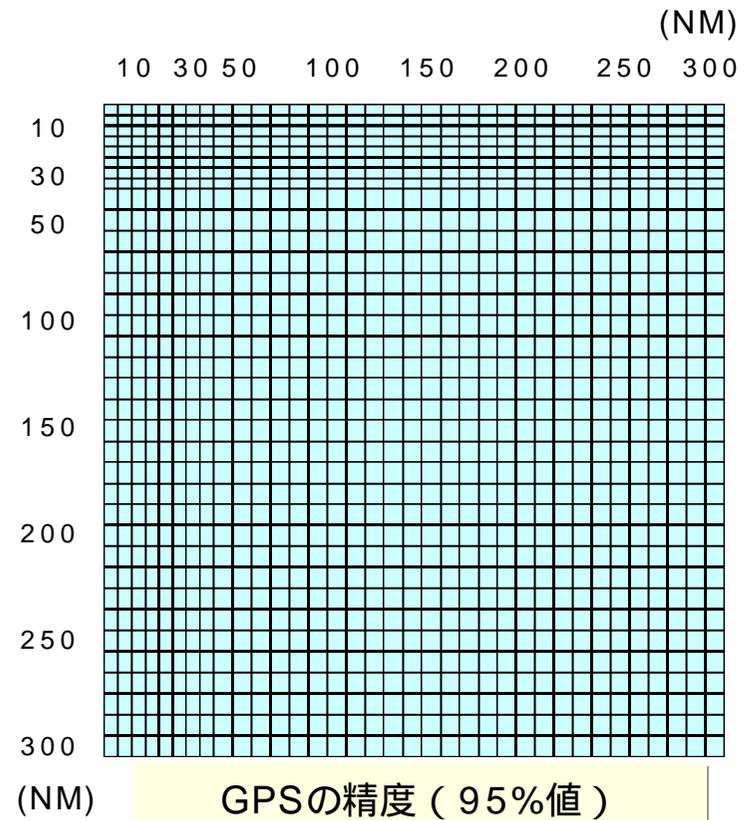
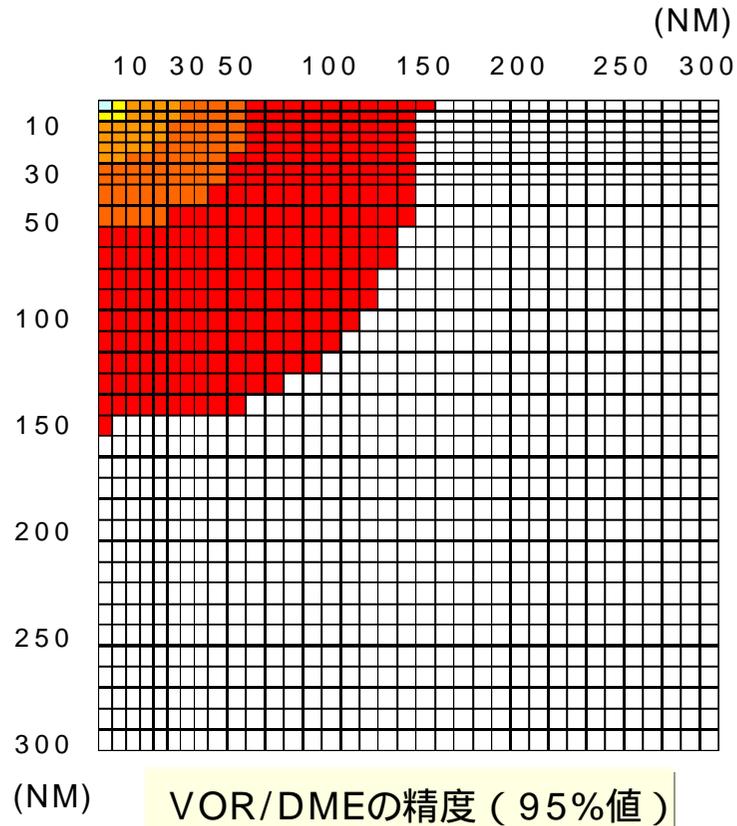


GPSによる測位原理

- 衛星の位置は既知 (GPSが放送)
- 衛星と観測点間の距離を測定
 - 電波到達時間の計測
- 未知数は4つ
 - 観測点の座標 (X, Y, Z)
 - GPS時計と受信機時計の差
- 4個の衛星が必要



VOR / DMEとGPSの精度比較



$\sqrt{(\text{クロス誤差})^2 + (\text{アロング誤差})^2}$ の値を記載

凡例	0 ~ 0.05NM	1 ~ 2NM
	0.05 ~ 0.2NM	2 ~ 4NM
	0.2 ~ 1NM	4NM以上

GPSの問題点

- 種々の原因による観測誤差
 - － 衛星軌道情報のずれ
 - － 衛星時計のずれ
 - － 電離層等、伝搬路の影響による電波の遅延
 - － 衛星の配置
- GPSの能力
 - － RAIM (自立完全性監視)機能により、完全性の確保は可能だが、多くの衛星が必要であり、利用可能性が低下
 - － SA (意図的精度劣化)解除により、精度については向上
 - － 継続性及び利用可能性は、満足できない
- GPSの航法上の位置付け
 - － 要件を全て満足しないため、計器飛行方式における補助的な使用に限定

ICAOにおける検討

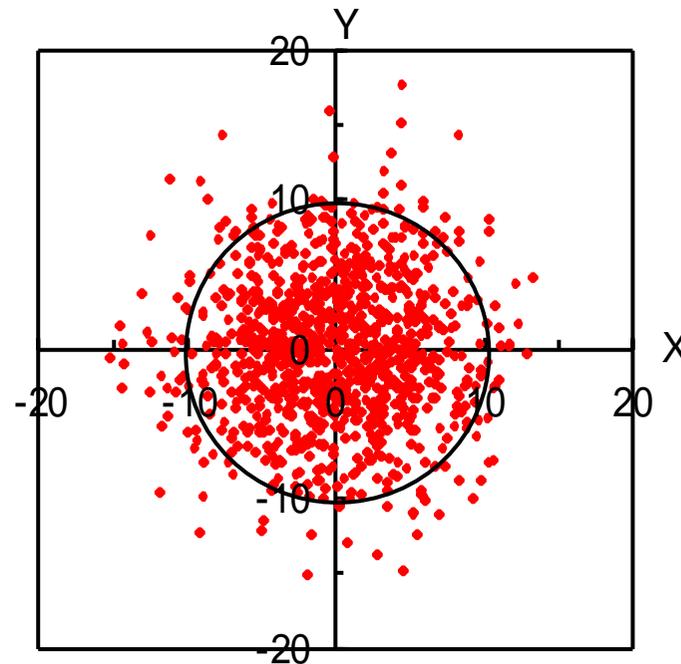
- 国際民間航空機関 (ICAO) は、FANS (Future Air Navigation System) 委員会で、次世代航空管制システムを検討
- 新CNS/ATM構想を提案し、1991年に開催された第10回航空会議 (ANC: Air Navigation Conference) で承認
- 航法システムについては、GNSS (Global Navigation Satellite System) を提唱
- 国際標準及び勧告方式 (SARPs: International Standards And Recommendation Practices) を制定
 - GNSSは、Annex 10 (航空通信) に規定、平成13年11月発効

GNS Sの要件

- GNS Sを航空航法に用いるためには、次の4要件を満たすことが必要
 - 精度(Accuracy) : 位置の正確さ
 - 完全性(Integrity) : 情報の確実さ
 - サービスの継続性(Continuity of service) : 中断のないサービス
 - 利用可能性(Availability) : 稼働率の高さ
- GPS単独では、4要件を満足しないため、補強システムが必要

精度(Accuracy)

- 位置の予測値と真値との差 (位置誤差) の程度
- 位置誤差が 95% 以上の確率で収まる値として規定



<例>
 誤差分布が標準偏差 5 の
 正規分布に従う場合
 (10以内に95%が入る)

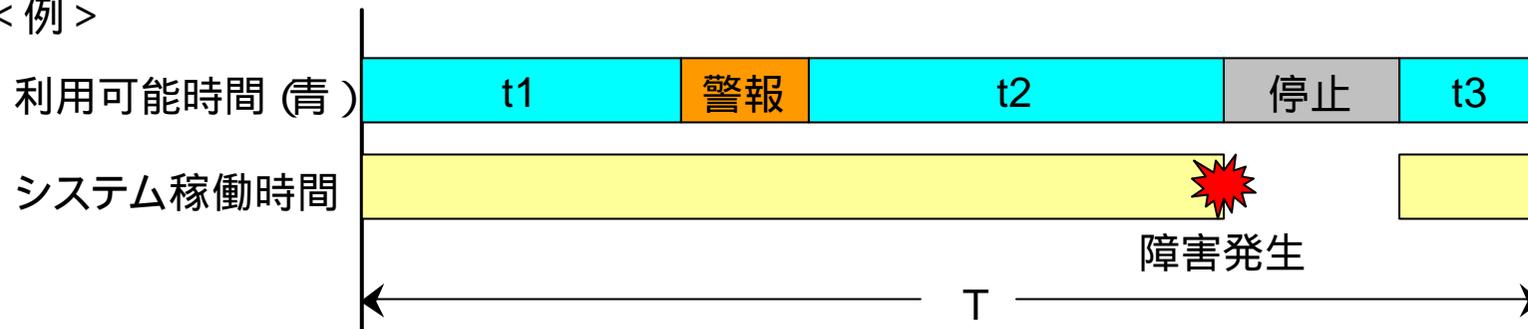
完全性(Integrity)

- 提供される情報の正確性を表す信頼性の尺度
 - システムを利用できないとき、ユーザーに対して適切に警報を与える能力を含む
- 一定の時間内で正確な情報が提供される確率として規定
- 異状が発生してから警報を発するまでの最大許容時間として規定(Time-to-alert)

サービスの継続性 (Continuity of Service)

- 運用中、計画外の中断なしにその機能を遂行する能力
- 一定の時間内でサービスの中断が生じない確率として規定

<例>

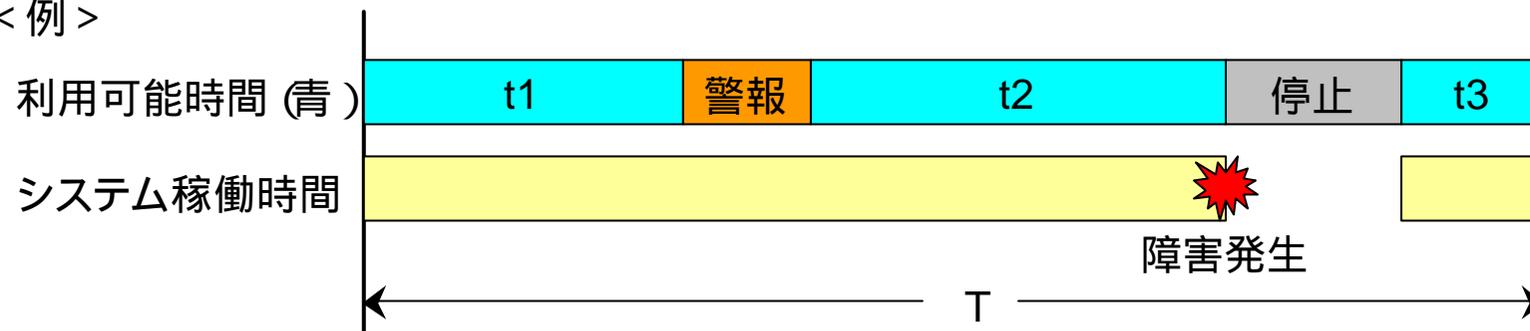


$$\text{継続性} = 1 - \frac{\text{中断回数} \times T_c}{t_1 + t_2 + t_3} \quad T_c : \text{継続性の基準時間}$$

利用可能性(Availability)

- 信託可能な航法を利用できる時間の割合として規定

<例>

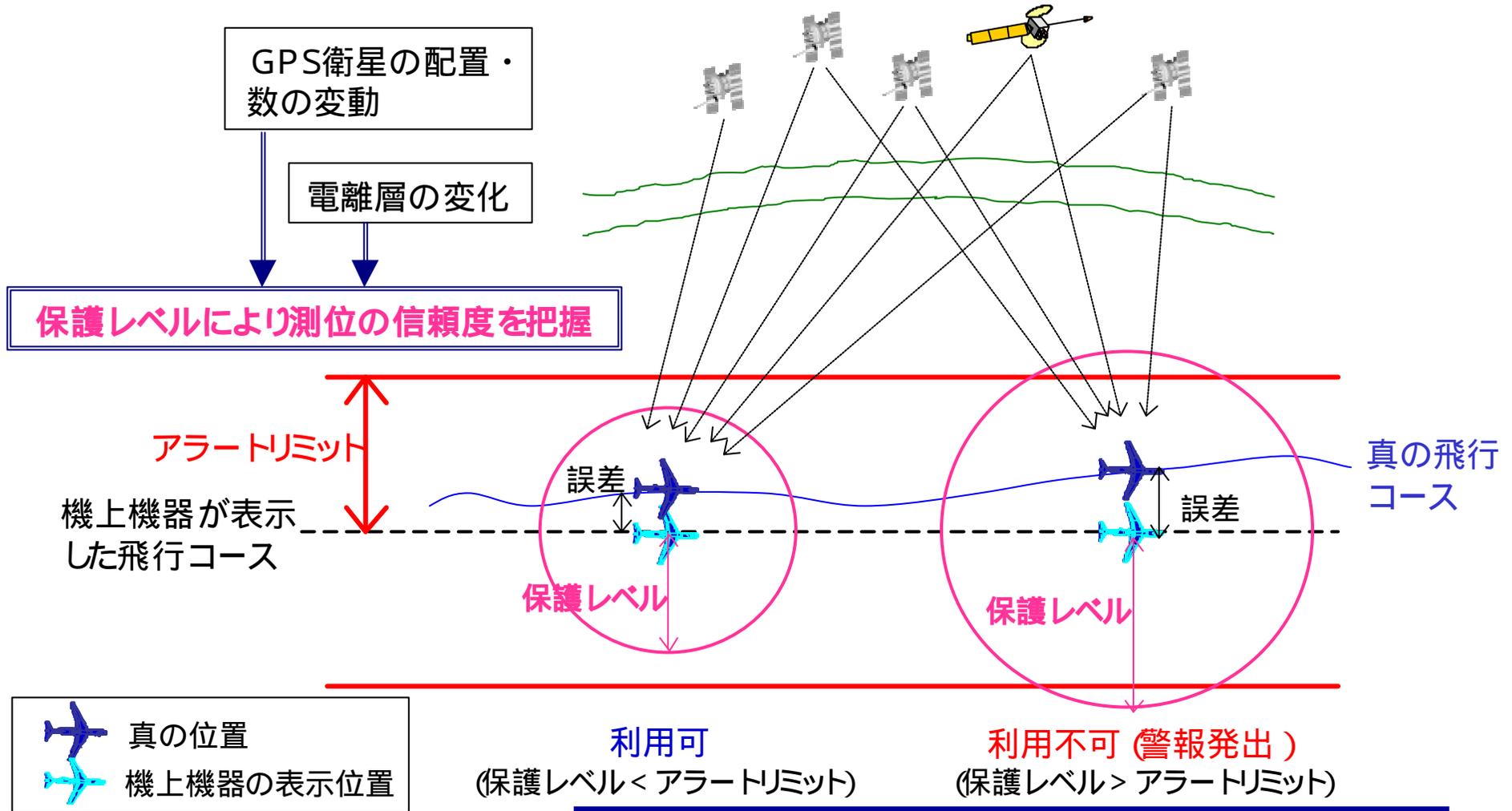


$$\text{利用可能性} = \frac{t1 + t2 + t3}{T}$$

機上における測位処理

- GNS Sによる測位精度は、時々刻々と変化
 - GPS衛星の数及び配置の変化、航空機の移動
 - 電離層、対流圏等、自然環境の変化
- 機上では自機位置に加え、測位の信頼度をリアルタイムで把握
 - 保護レベル (99.99999%で保証される測位誤差範囲)を算出
 - 保護レベルが小さい値であるほど測位信頼度は高い
 - アラートリミット(測位誤差の許容限界値)と比較し、これを超えれば警報を発出

保護レベルとアラートリミット



シグナルインスペースの性能 (1/2)

オペレーション	水平方向		垂直方向	
	精度 (95%)	アラートリミット	精度 (95%)	アラートリミット
航空路	3,700m (2.0NM)	7,400m (4NM)	規定なし	規定なし
航空路 ターミナル	740m (0.4NM)	3,700m(2NM) 1,850m(1NM)	規定なし	規定なし
初期、中間、非精密 進入 (NPA) 出発	220m (720 feet)	556m (0.3NM)	規定なし	規定なし
垂直誘導付進入 (APV-)	220m (720 feet)	556m (0.3NM)	20m (66 feet)	50m (164 feet)
垂直誘導付進入 (APV-)	16.0m (52 feet)	40.0m (130 feet)	8.0m (26 feet)	20.0m (66 feet)
CAT- 精密進入	16.0m (52 feet)	40.0m (130 feet)	6.0~ 4.0m (20~ 13 feet)	15.0~ 10.0m (50~ 33 feet)

シグナルインスペースの性能 (2/2)

オペレーション	インテグリティ	警告までの時間	サービスの継続性	アベイラビリティ
航空路	1 - $1 \times 10^{-7}/h$	5分	1 - $1 \times 10^{-4} \sim$ 1 - $1 \times 10^{-8}/h$	0.99~ 0.99999
航空路 ターミナル	1 - $1 \times 10^{-7}/h$	15秒	1 - $1 \times 10^{-4} \sim$ 1 - $1 \times 10^{-8}/h$	0.999~ 0.99999
初期、中間、非精密 進入 (NPA) 出発	1 - $1 \times 10^{-7}/h$	10秒	1 - $1 \times 10^{-4} \sim$ 1 - $1 \times 10^{-8}/h$	0.99~ 0.99999
垂直誘導付進入 (APV-)	進入あたり 1 - 2×10^{-7}	10秒	15秒間に 1 - 8×10^{-6}	0.99~ 0.99999
垂直誘導付進入 (APV-)	進入あたり 1 - 2×10^{-7}	6秒	15秒間に 1 - 8×10^{-6}	0.99~ 0.99999
CAT- 精密進入	進入あたり 1 - 2×10^{-7}	6秒	15秒間に 1 - 8×10^{-6}	0.99~ 0.99999

性能要件の解説

- 垂直誘導付進入(APV: Approach operations with Vertical guidance)
 - 垂直方向の誘導情報を利用した進入。精密進入より性能は劣る。
- 完全性
 - (例) $1 - 1 \times 10^{-7} / h = 99.99999\% / h$
1時間の飛行を1千万回行う場合、誤った情報が提供されるのは1回の飛行まで許容
- 継続性
 - (例) $1 - 1 \times 10^{-8} / h = 99.999999\% / h$
1時間の飛行を1億回行う場合、飛行途中でサービスが中断するのは1回の飛行まで許容 (計画された中断を除く)

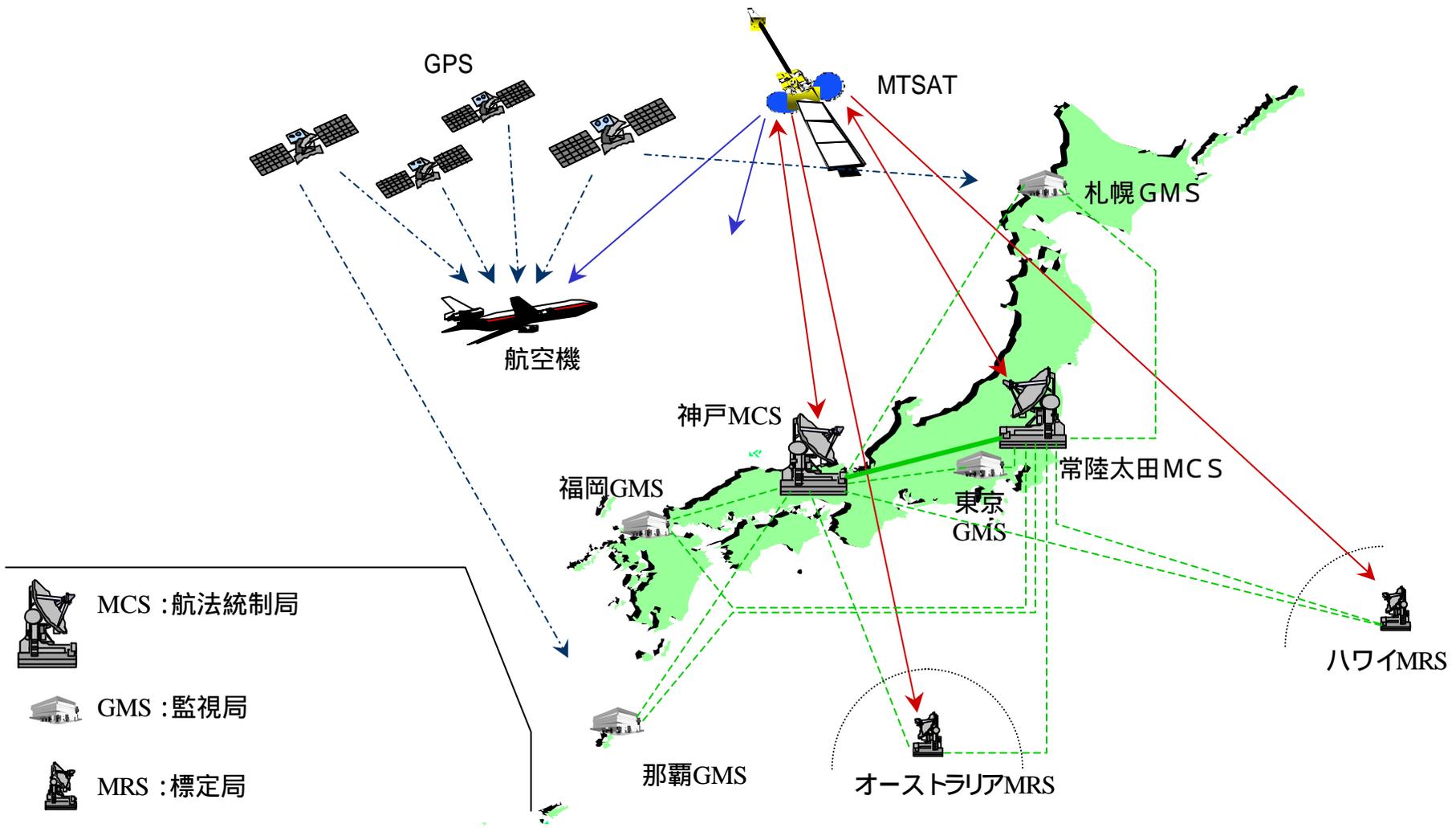
GNSSの構成(SARPs)

- 全地球的衛星測位システム
 - GPS(Global Positioning System)
 - GLONASS(Global Navigation Satellite System)
- 補強システム
 - ABAS(Aircraft Based Augmentation System)
 - 航空機の機上システムで衛星航法の補強を行うシステム
 - SBAS(Satellite Based Augmentation System)
 - 静止衛星を介して補強情報を航空機に提供するシステム
 - 広域にわたる補強情報の提供が可能
 - GBAS(Ground Based Augmentation System)
 - 地上から補強情報を航空機に提供するシステム
 - 覆域は狭いが、高精度のサービス提供が可能
- GNSS受信装置

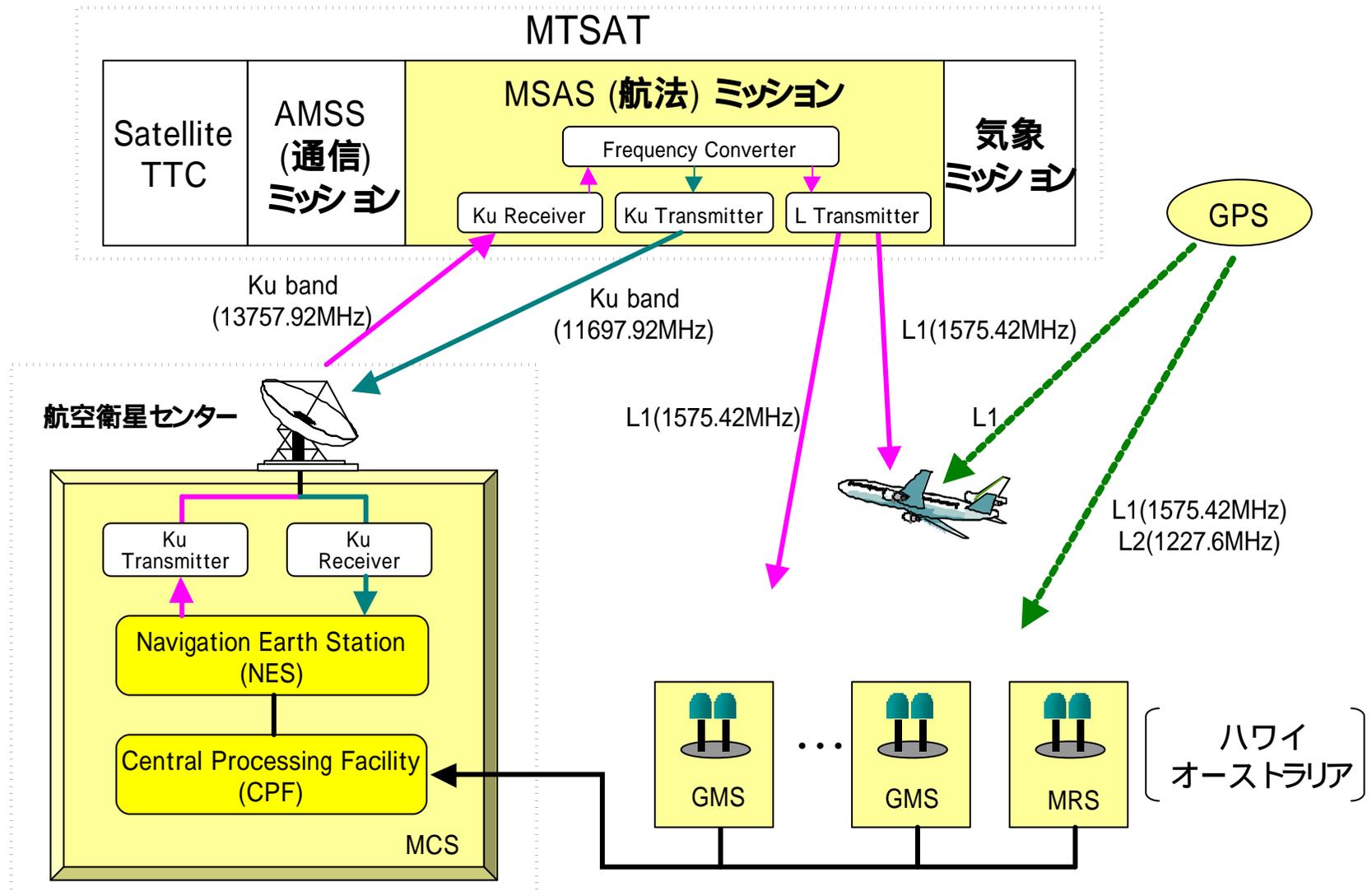
MSASの効果及び特長

- 従来の地上航法装置であるVOR/DMEやNDBに替わる次世代航法システム
 - VOR/DME受信機を搭載しなくても、MSAS受信機のみで飛行可能
- 洋上から陸域まで、広範囲にわたって利用することが可能
- 柔軟な飛行ルートが設定可能
 - RNAVに貢献
- MTSATを2機利用することにより、高い信頼性が実現
- 周波数はGPSのL1と同じであり、受信機のハードウェアはGPS受信機と共用可能
 - 機上受信機の費用軽減

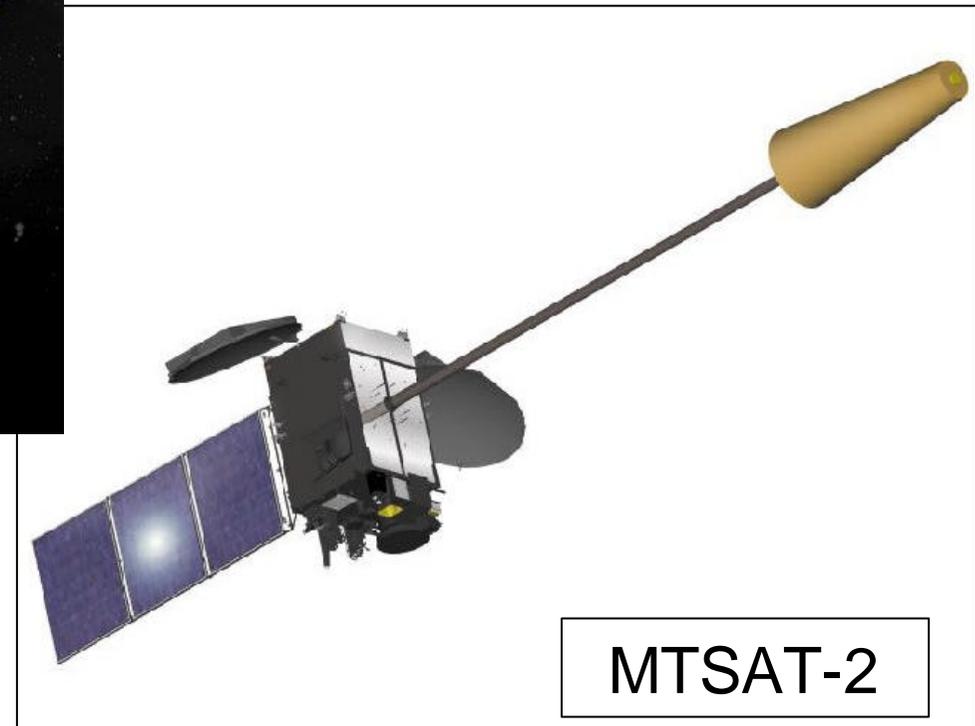
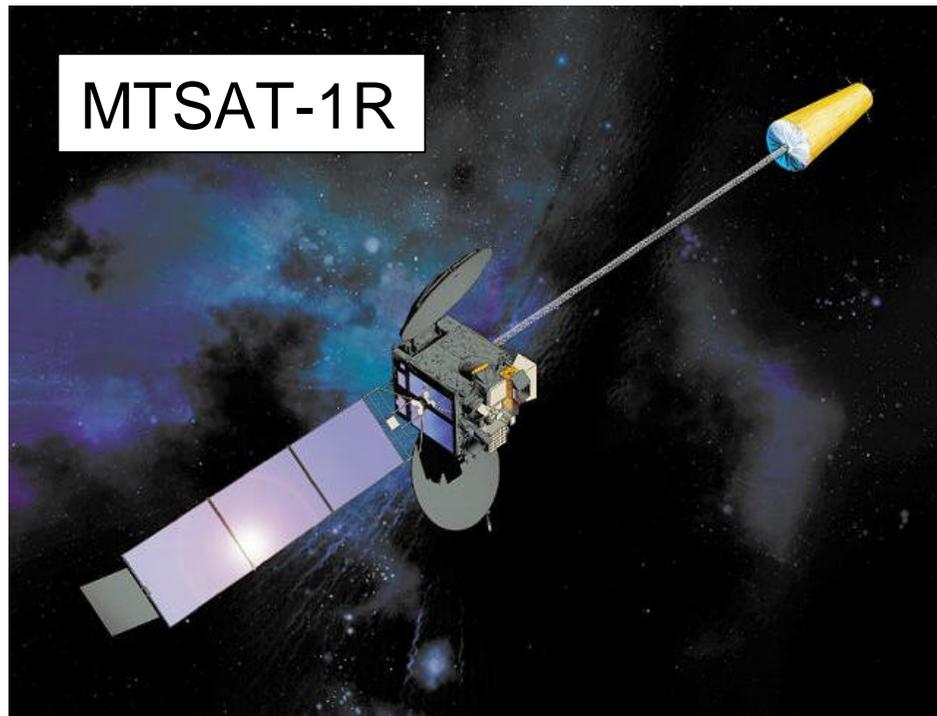
MSASの構成

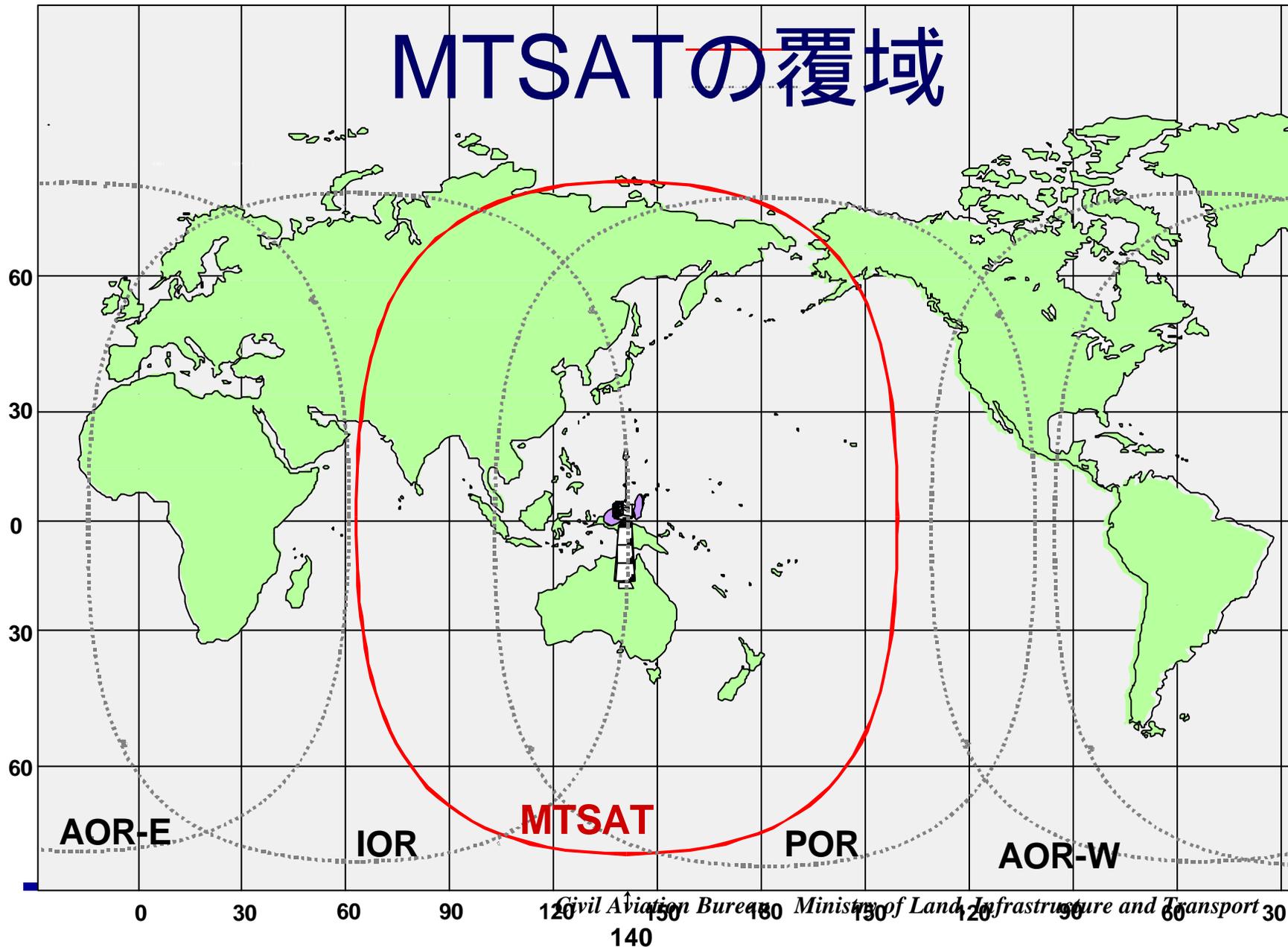


MSASのしくみ



MTSAT外觀





MSASの機能

- インテグリティ機能
 - GPS衛星の不具合情報を航空機に提供
 - 99.99999%の確率で保証する誤差範囲情報 (保護レベル)を提供
- レンジング機能
 - MTSATをGPS同様の測位衛星として利用可能
 - 移動するGPS衛星とは異なり、MTSATは常に利用可能であり、信頼性が向上
- ディファレンシャル補正機能
 - GPSによる測位誤差 (軌道誤差、クロック誤差、電離層遅延誤差等)の補正值を航空機に提供
 - GPS単独で20m程度の精度 (水平方向)が、数メートル以内に改善



MSASの整備状況

- 平成 3年 ICAOが第10回航空会議でFANS (Future Air Navigation System) 構想を承認
- 平成 5年 電子航法研究所がGNSSに係る研究を開始
- 平成 6年 MTSATの整備に着手
- 平成 7年 MSASの整備に着手
- 平成 11年 MTSAT1号機打上失敗
- 平成 13年 GPSデータの収集・解析作業を開始
- 平成 16年 MTSAT新 1号機打上予定
- 平成 17年 MSAS運用開始予定

神戸航空衛星センター



常陸太田航空衛星センター

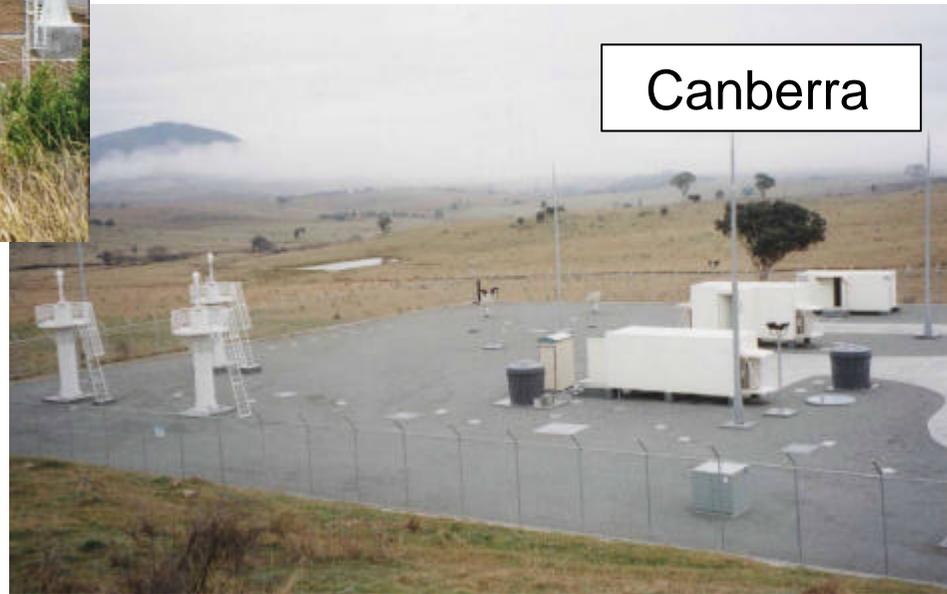


MSAS標定局

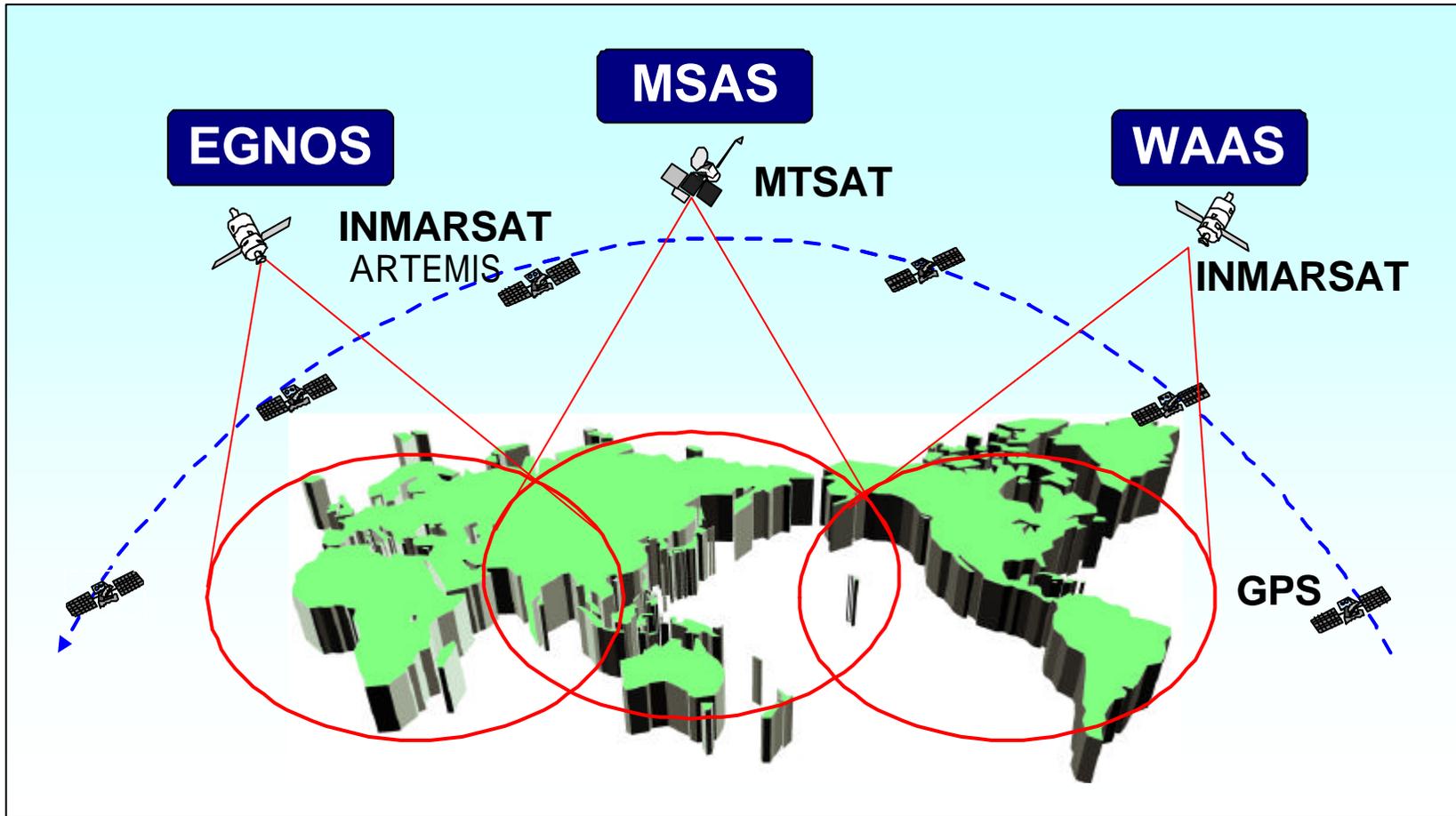
Hawaii



Canberra



SBASの相互運用性



運用室 (神戸)



国内 3社 GPS 装備状況

装備機数 / 保有機数 , H15年 3月時点

機 材	JAL	ANA	JAS	合 計
B747-400	40/42	12/23		52/65
B747 Classic	0/39	0/10		0/49
B767	12/28	7/55		19/83
B777	12/12	21/21	7/7	40/40
MD-11	5/6			5/6
MD-81/87			3/26	3/26
MD-90			0/16	0/16
DC-10	0/15			0/15
A300			0/36	0/36
A320/321		7/32		7/32
合 計	69/142	47/141	10/85	126/368
	49%	33%	12%	34%

SBAS受信機のメリット

	GPS受信機	SBAS受信機
技術標準	FAA TSO C-129a RTCA DO-208	FAA TSO C-145a/146a RTCA DO-229C
SA (意図的精度劣化)	SA ONを前提に測位 保護レベル増大	SA OFFにも対応
RAIM機能	FD (Fault Detection) のみに対応	FD及びFDE (Fault Detection and Exclusion) に対応 (SBAS利用不可時)
SBASレンジング	利用できない	利用できる
その他		GPS受信機からのアップグ レードが容易

GNSS整備動向

- 測位衛星システム
 - GPSの近代化 (米国)
 - GLONASSの近代化 (ロシア)
 - GALILEO (欧州)
- SBAS
 - WAAS (米国)・・・2003年7月10日運用開始
 - EGNOS (欧州)・・・2004年4月運用開始予定
 - MSAS (日本)・・・2005年運用開始予定
 - GAGAN (インド)
- GBAS
 - LAAS (米)・・・2006年運用開始予定