



衛星航法を利用した精密進入に対する 機上補強技術の研究

(独)宇宙航空研究開発機構 航空プログラムグループ
運航・安全技術チーム 航法技術セクション
藤原 健

航空宇宙研究会講演会
2010年10月29日





発表内容

- 背景
- 衛星航法による精密進入と、その課題
- 電離圏異常の脅威
- プラズマバブルの利用性への影響と、INS複合による利用性の改善
- シンチレーションの信号追尾への影響と、INS複合による追尾性能の改善
- まとめ、今後の計画



研究の背景

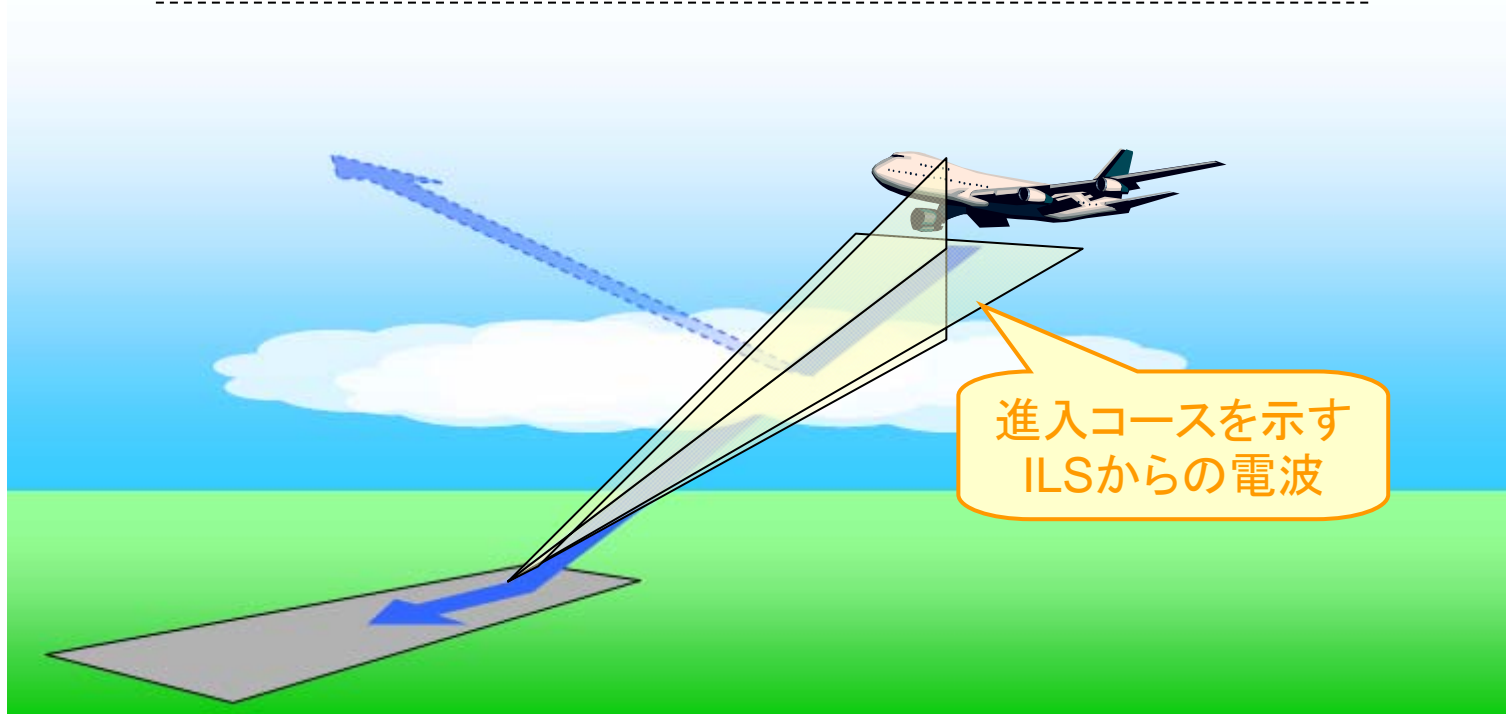
- JAXAは、将来の航空交通需要の増加に対応するため、次世代運航システムに関する研究開発プログラムDREAMSを進行
 - ICAOグローバルATM運用概念にもとづく
 - NextGen(米), SESAR(欧), CARATS(日)と目標共有
- 高精度衛星航法の研究開発は、その中の重点課題のひとつ
 - CARATS: 全飛行フェーズでの衛星航法の実現
 - 米・欧・日: GBASを利用した衛星航法精密進入の推進
 - DREAMS: 衛星航法精密進入の利用性の向上





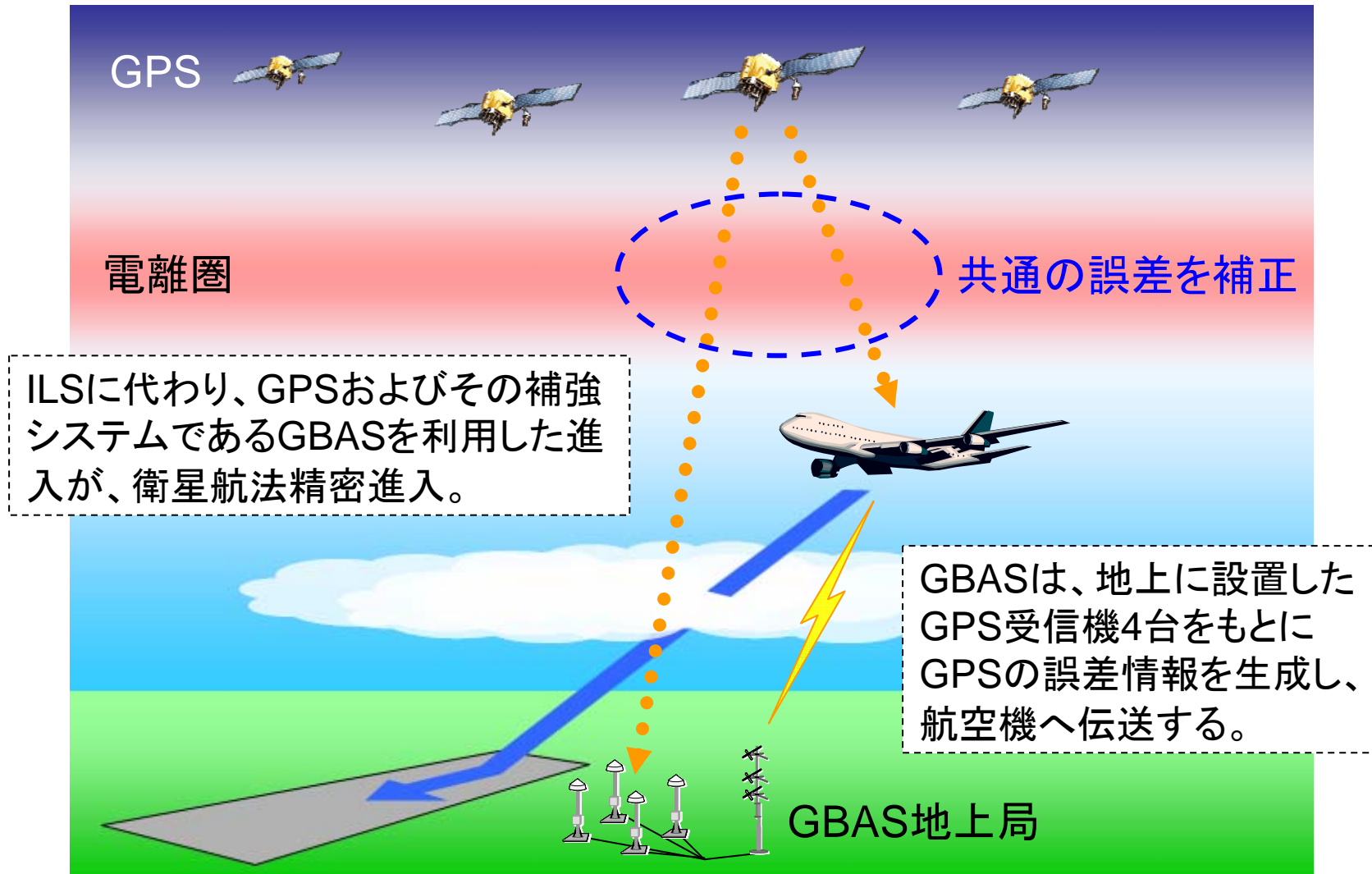
計器飛行による精密進入

一般に航空機は滑走路が視認できなければ着陸進入を取りやめなければならないが、ILSと呼ばれる地上設備から進入コースを示すために送信される電波に従うことで、視界(視程)が不十分でも進入が許される(精密進入)。



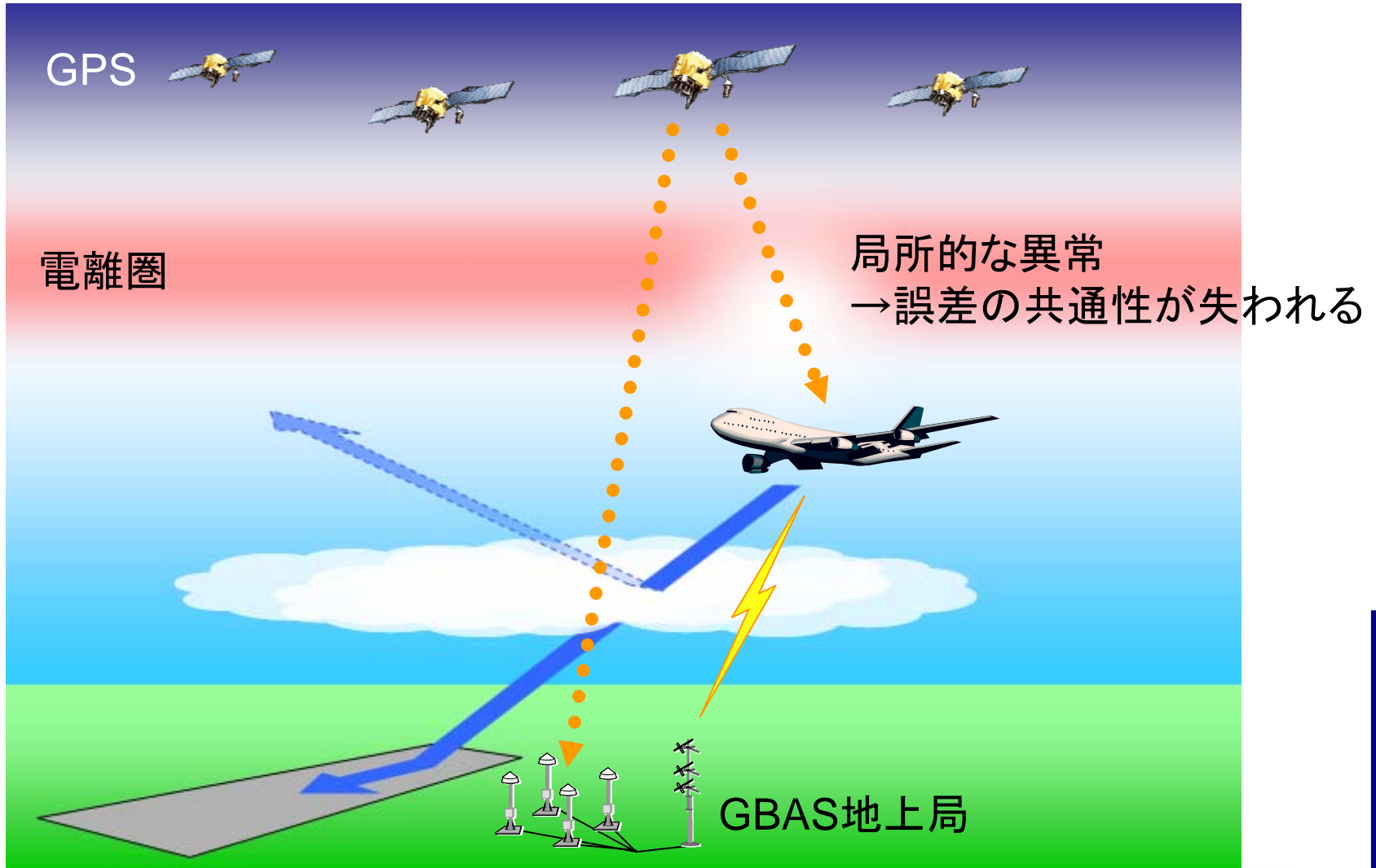


衛星航法による精密進入





電離圏異常の脅威





電離圏の異常

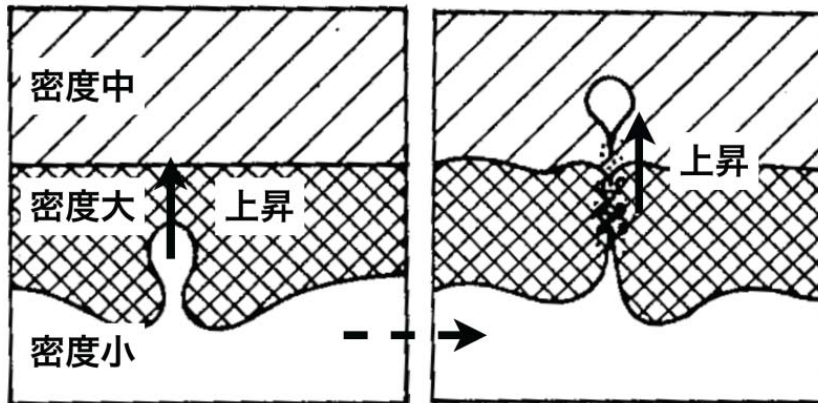
- 電離圏の空間的な相関(遅延勾配)
 - 平穏時: 4mm/km
 - 磁気嵐時: $>400\text{mm/km}$ 、ただし低頻度
- プラズマバブル
 - 磁気嵐による遅延勾配よりも弱いが高頻度
 - 磁気緯度の低い地域では時期により、ほぼ毎晩
 - 北米・欧州では影響が少ないため、調査不十分



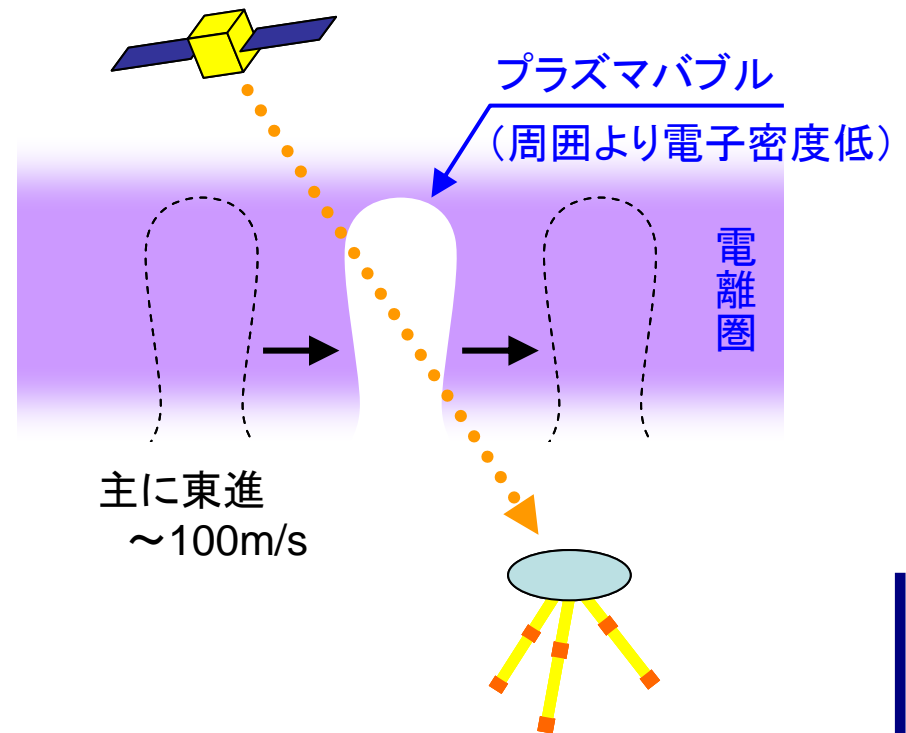
プラズマバブル

- ▶ 夜間、電離圏下部の電子密度の低い領域が泡のように電離圏上部に上昇する現象
- ▶ 太陽活動(11年周期)の極大期における春季・秋季に頻度大

プラズマバブルの模式図



[Woodman and LaHoz, 1976]より





評価用プラズマバブルモデル

- パラメータ

- プラズマバブルの大きさ

- 東西: 110km
 - 南北: 5,200km
 - 高度: 600km

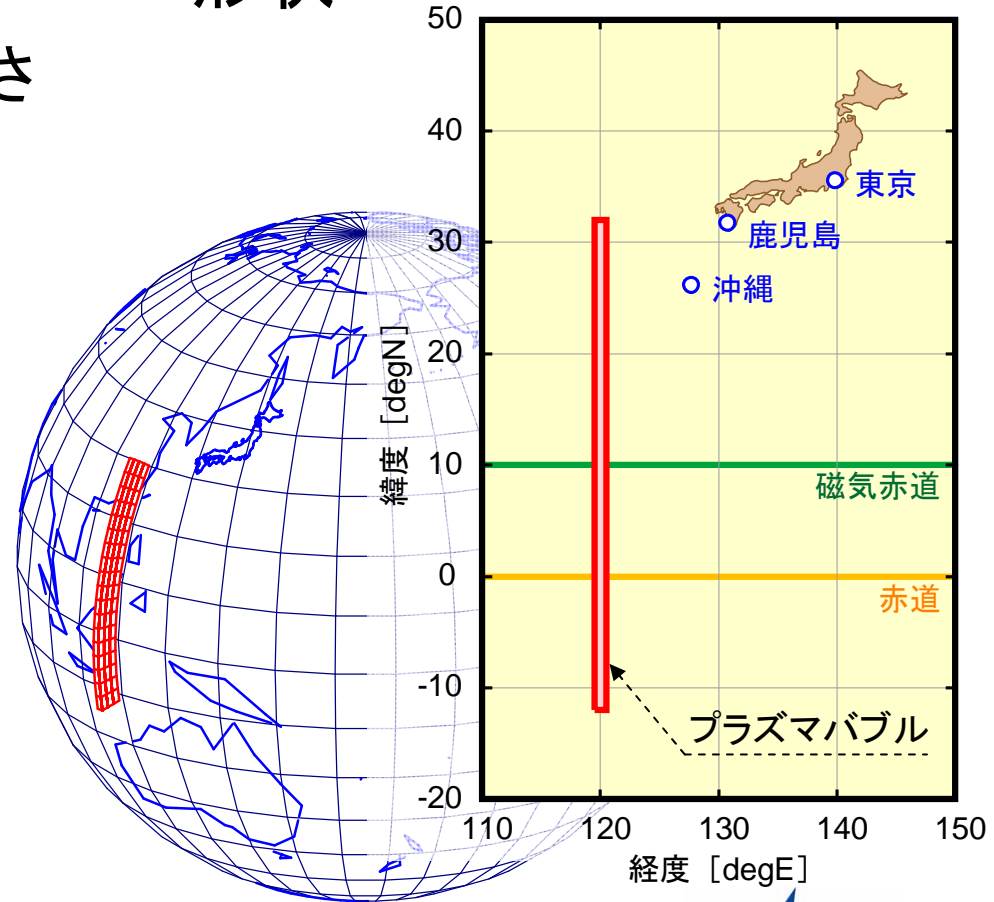
- 中心緯度

- 北緯10度(磁気赤道)

- プラズマバブルの速度

- 赤道上、東へ100m/s
(経度: 3.2deg/h)

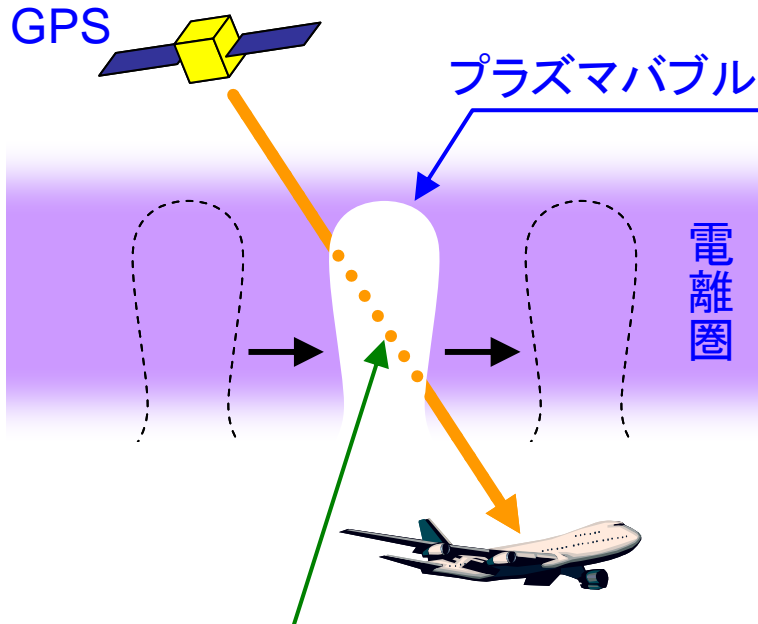
- 形状





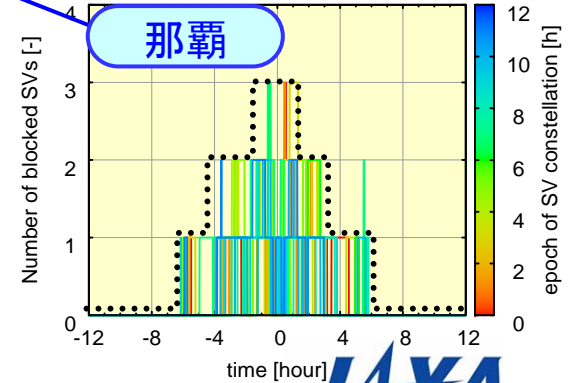
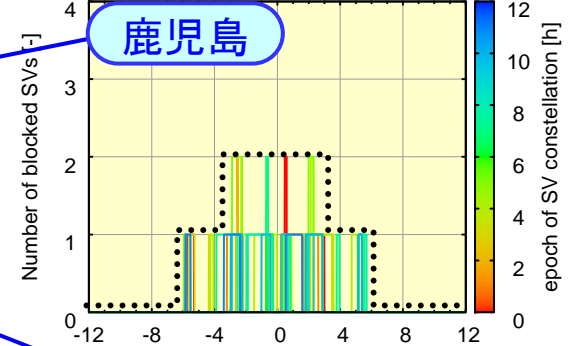
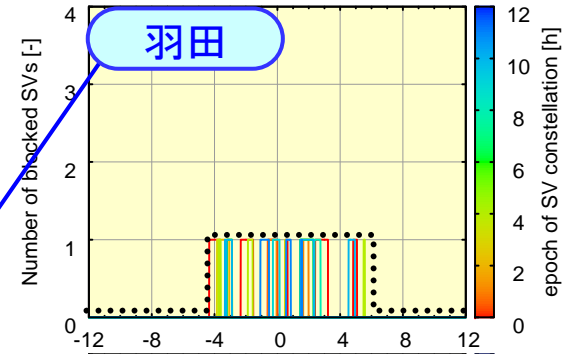
プラズマバブルと信号経路の干渉

信号経路が干渉を受ける衛星数を調査



信号経路の干渉の影響

- シンチレーション
信号追尾を妨害
- 電離圏遅延誤差の急変
常時監視され、発見しだい排除





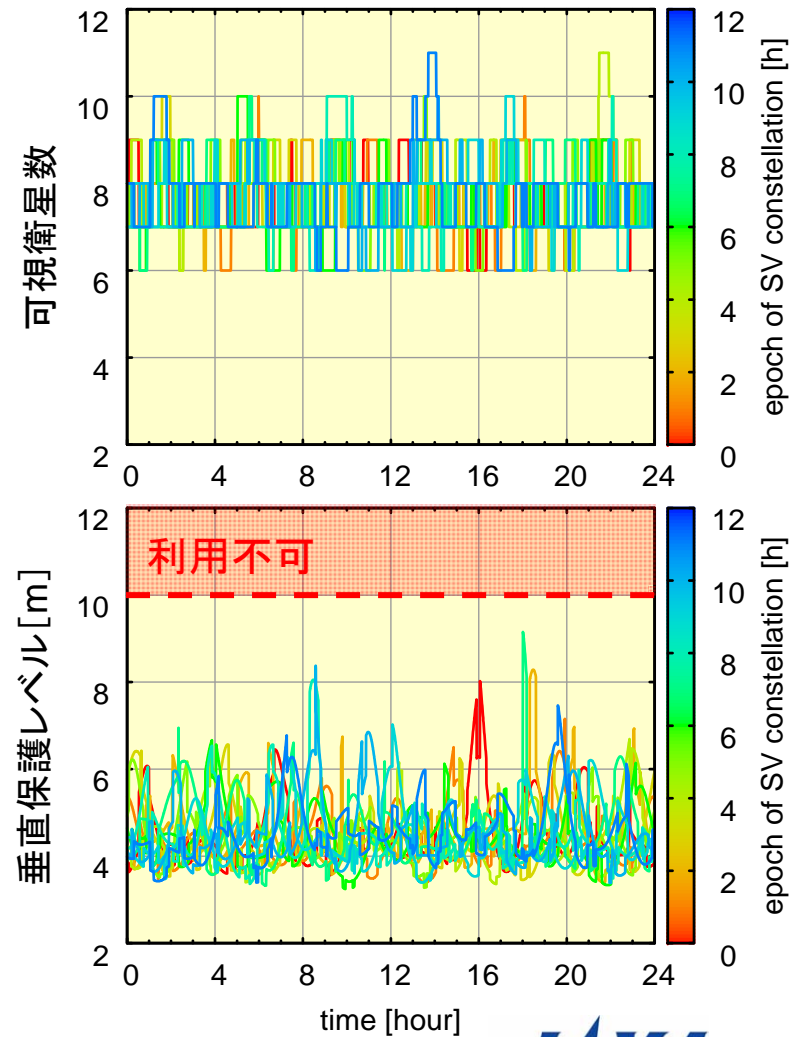
利用性への影響評価(1/2)

プラズマバブルなし

利用性 : 100%

条件:

- 最適軌道配置(24衛星)
- 那覇空港(緯度:26°N)
- 利用性の判断基準
 - 垂直保護レベル < 10m
- 電離圏: 穏やか(異常なし)





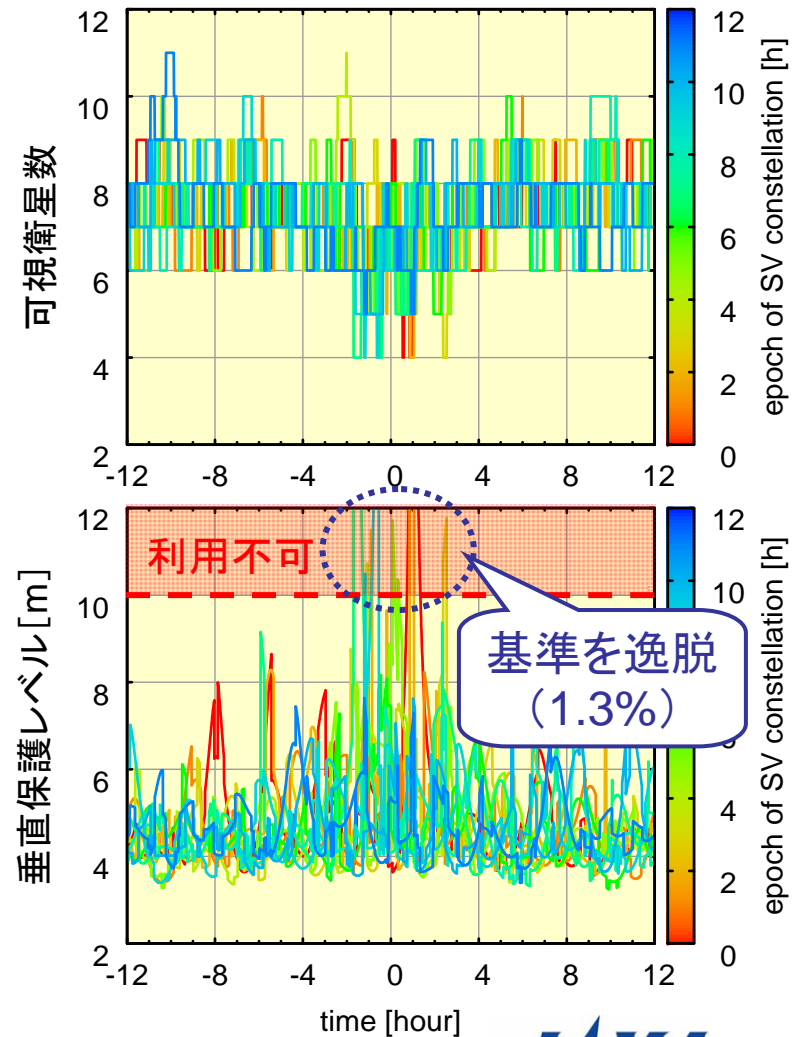
利用性への影響評価(2/2)

プラズマバブル影響下

利用性 : 98.7%

条件:

- 最適軌道配置(24衛星)
- 那覇空港(緯度:26°N)
- 利用性の判断基準:
 - 垂直保護レベル < 10m
- 電離圏:
 - プラズマバブルがひとつ発生
 - 時刻0に、空港直上を通過
- プラズマバブルの干渉を受けるGPS信号は、すべて使用不可





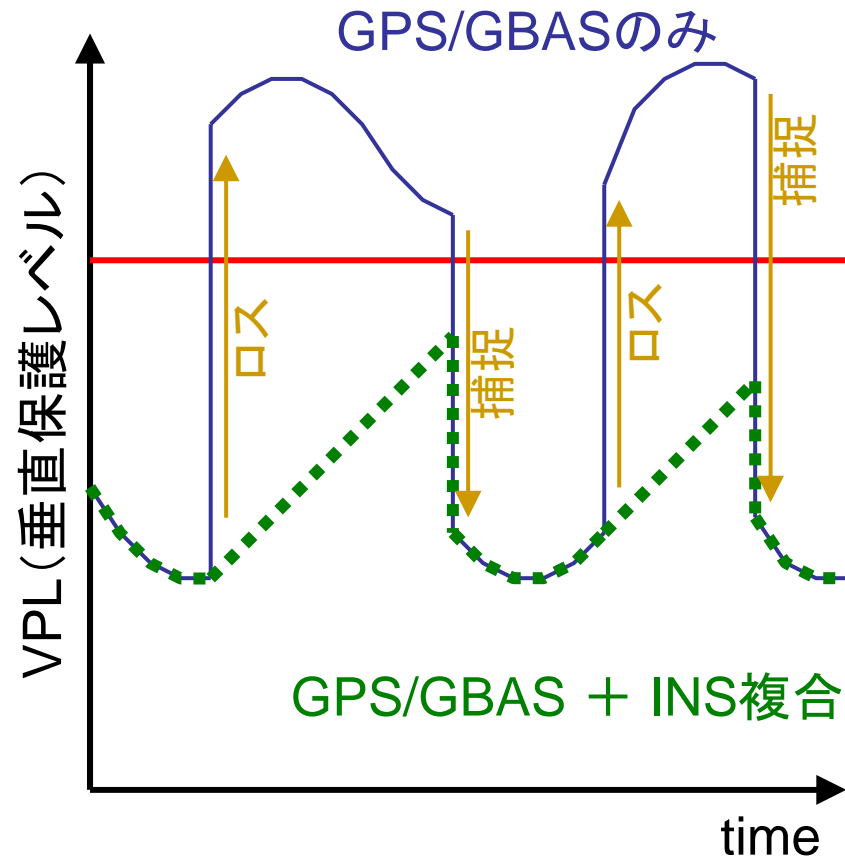
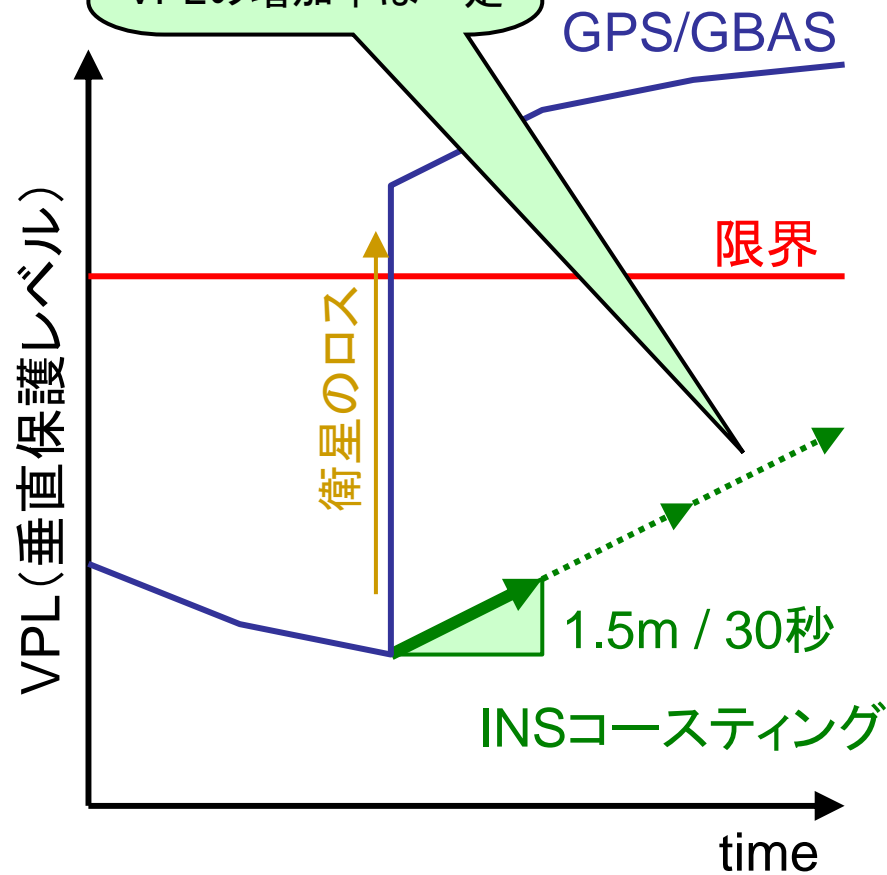
GPS/INS複合航法の利用

- GPS/INS複合航法は、短時間であればGPSが使用できなくなったあとも航法を継続する能力(=コースティング)を持つ
 - GPSが使用できなくなる直前まで、電離圏異常下のGPS信号で補正され続けたINSは、そのコースティング性能が低下している。
 - コースティング性能の低下に関して、さまざまな電離圏異常のもと定量的に評価された。(RTCA SC-159 WG2C/WG4, 米国)
 - 結果:30秒間のコースティングにおけるVPLの増加1.5m
 - 本研究における仮定:VPLの増加率は30秒以降も一定



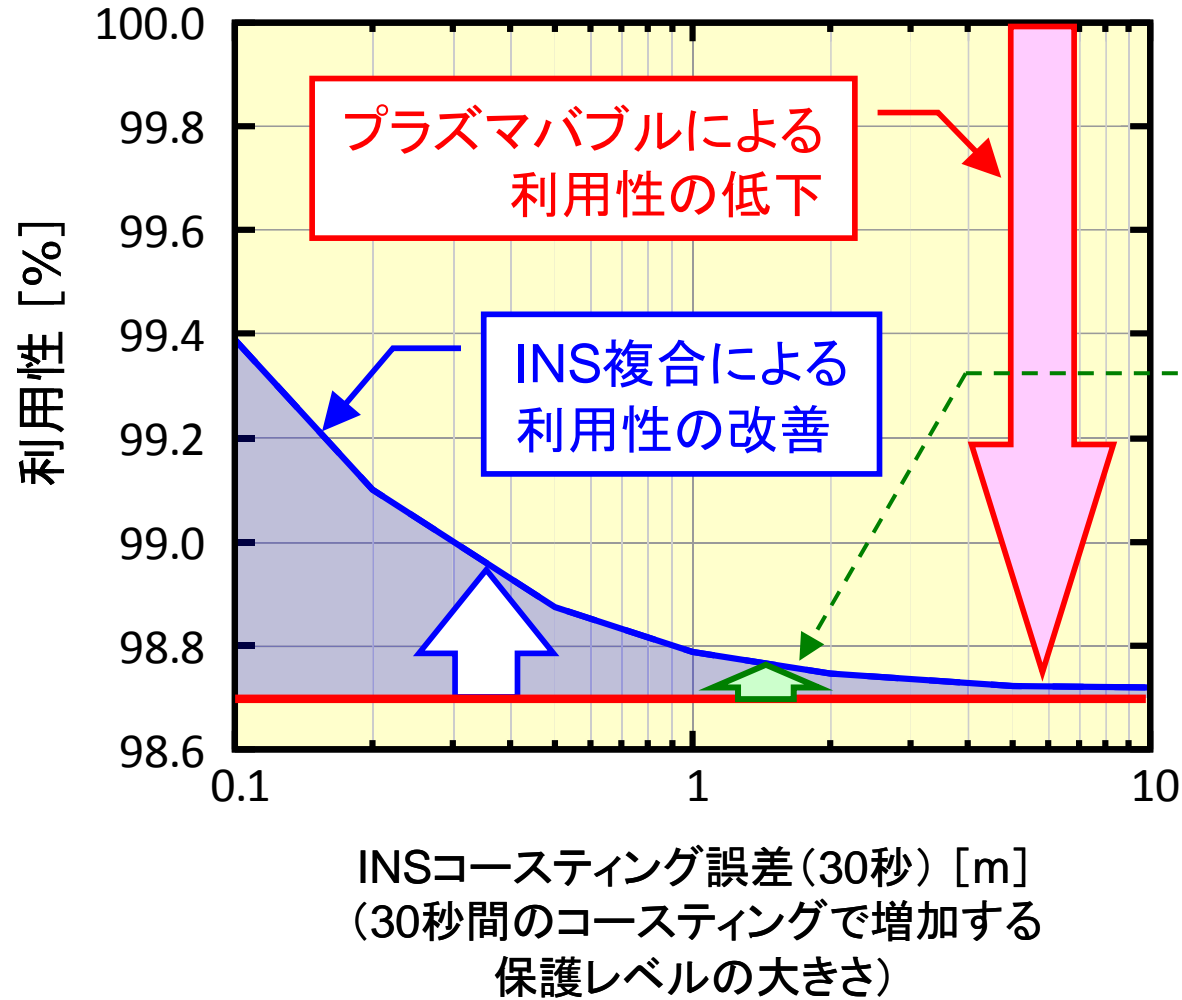
コーステイニングによるVPLの維持

本研究の仮定:
コーステイニング中の
VPLの増加率は一定

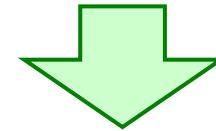




利用性の改善結果



プラズマバブルによって低下した利用性は、INS複合によって改善が期待される。ただし、現時点のコースティング性能 (1.5m/30秒) では、改善効果は小さい。



INSコースティングの性能改善が課題

- ・慣性センサーの高精度化
- ・異常検出アルゴリズムの改良



プラズマバブルによる GPS信号追尾への影響

- GPS受信機の内部処理

- 搬送波位相 (GBASでは必須) を追尾
- 衛星が出力する信号: 周波数一定
- ユーザーが受信する信号:
 - 衛星の軌道運動にともなうドップラーシフト: 緩やか
 - 移動体は自身の運動によってもドップラーシフト: 変動

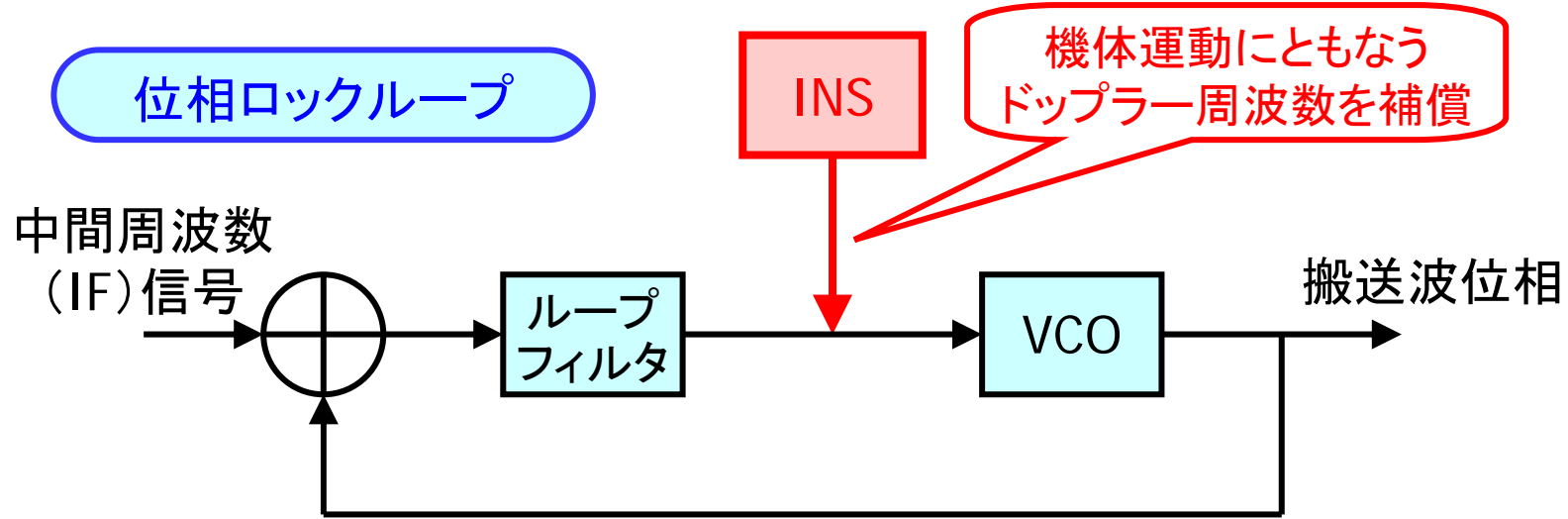
- プラズマバブル

- 通過する電波 (GPS搬送波) の位相・振幅がランダムに変動 (=シンチレーション)



INSによるドップラー補助

位相ロックループ



機体運動にともなう
ドップラー周波数を補償

GPS信号



フロント
エンド

追尾ループ

GPS航法

測位結果

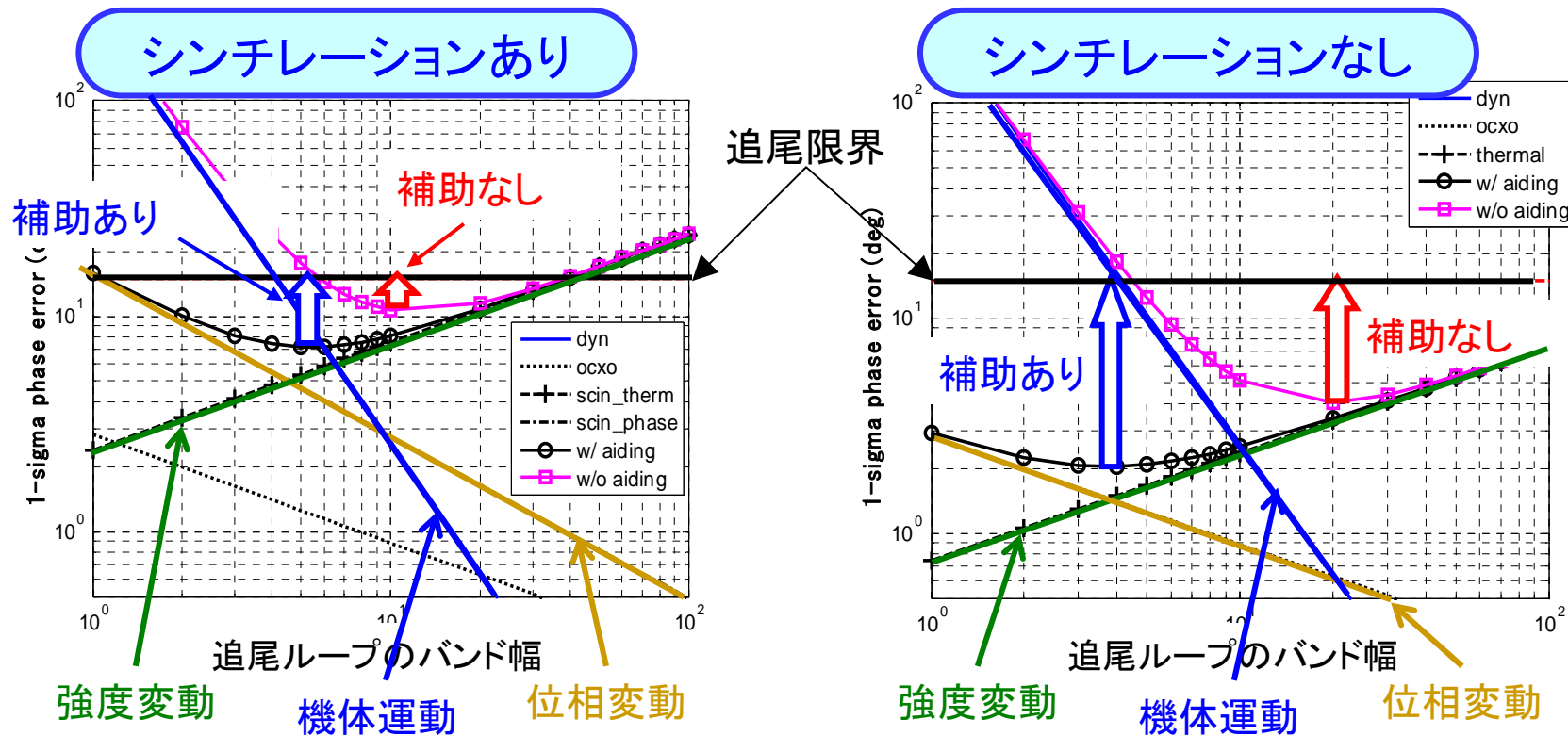
INSによるドップラー補助アルゴリズムを
ソフトウェアGPS受信機に実装

ソフトウェアGPS受信機





搬送波位相誤差による 追尾性能の予測

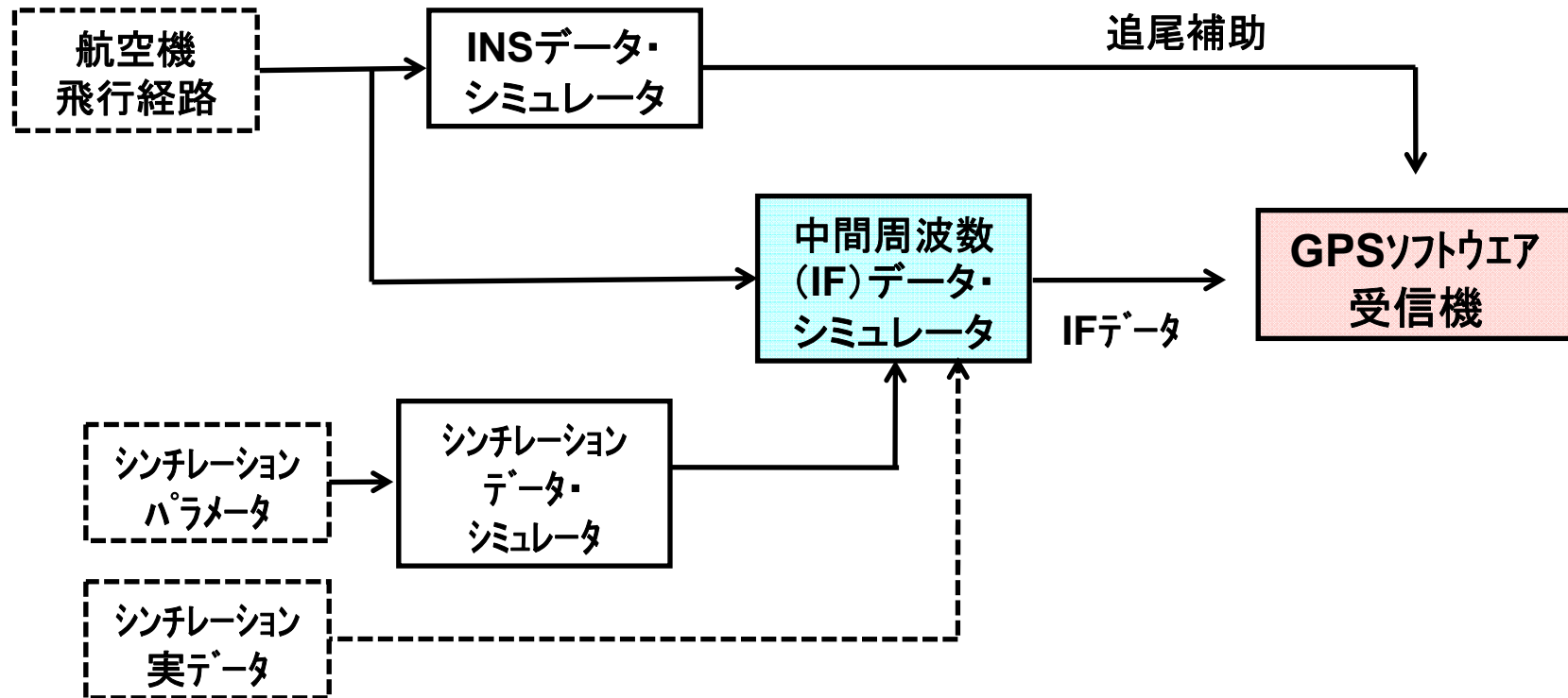


INS補助によりシンチレーション環境でも追尾マージンが得られる



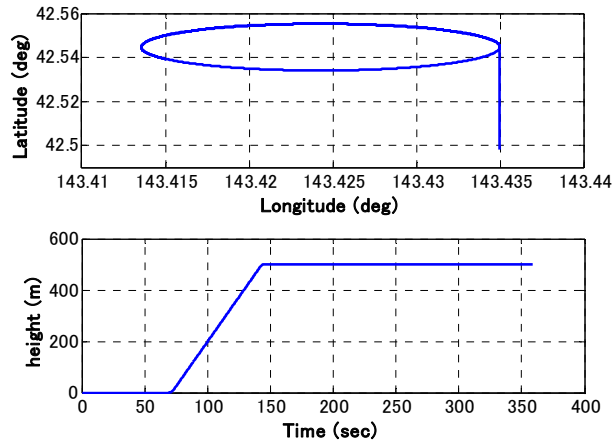


GPS中間周波数データ・シミュレータ

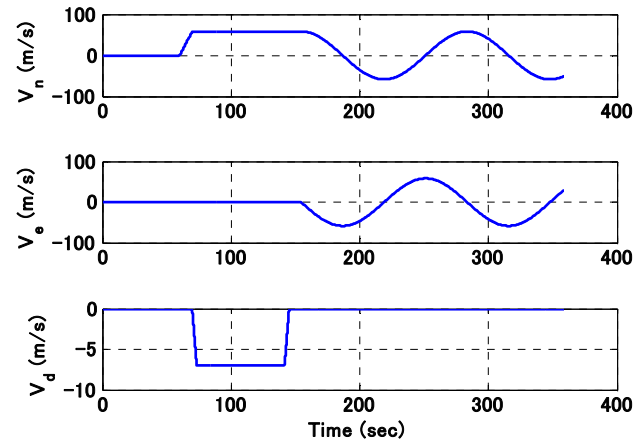




シンチレーションを含むGPS信号の模擬



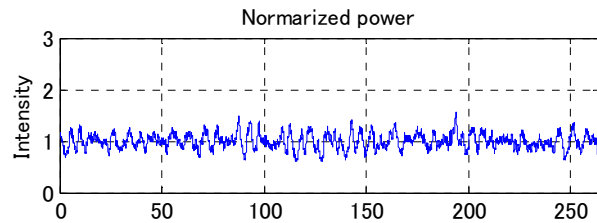
航空機の軌道(離陸、旋回)



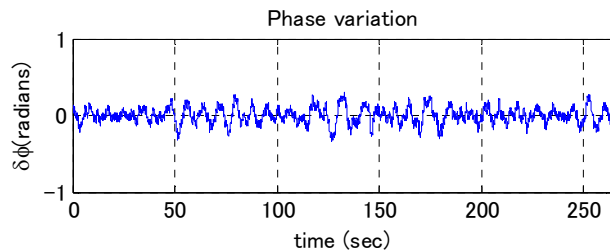
航空機の世界

→ ドップラー周波数を計算

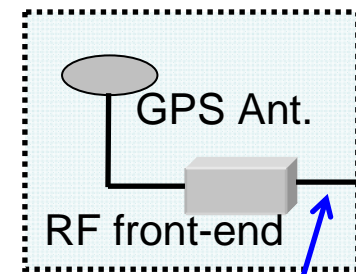
強度変動



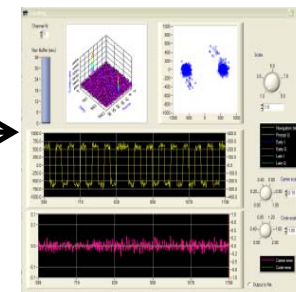
位相変動



計算機シミュレーション



追尾補助



観測データ
位置解

ソフトウェアGPS受信機

実際に観測されたデータのシンチレーション成分を
模擬中間周波数(16MHz)データに埋め込む





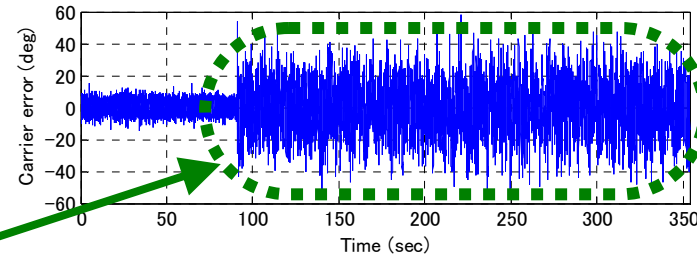
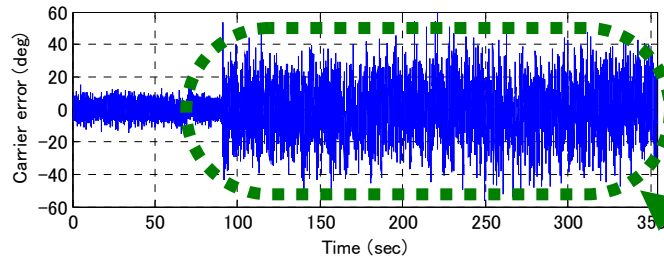
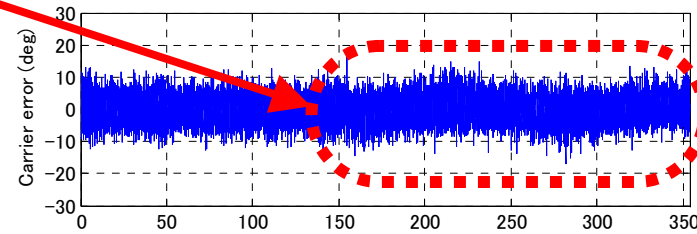
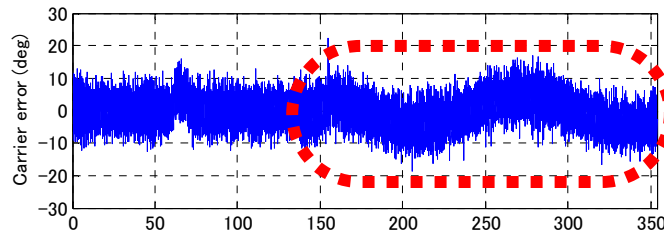
追尾性能の評価

位相追尾誤差 [deg]

INS補強なし

機体運動
の影響

INS補強あり



機体運動 + シンチレーション

位相追尾誤差が45度を超える頻度が30%低減
→ サイクルスリップの確率が減少すると期待

0.17%

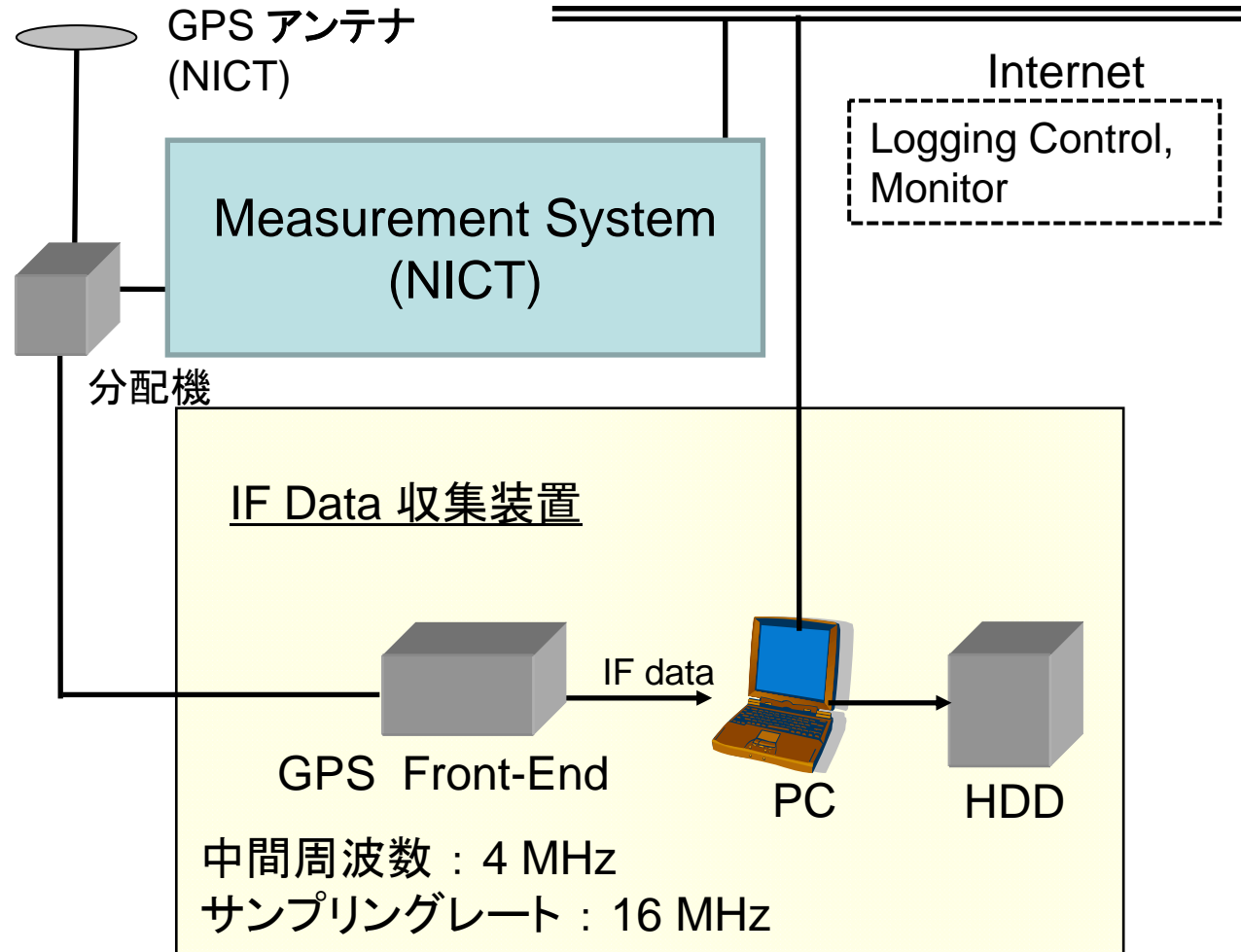
-30%

0.12%





バンコクKMITL大学における GPS中間周波数データ収集





まとめ, 今後の計画 (1/2)

- プラズマバブルの簡易評価モデルを作成し、衛星航法精密進入の利用性に対するプラズマバブルの影響を定量的に調査
 - プラズマバブルの影響は南方ほど大きく、沖縄、九州では有意に利用性が低下する可能性があることを確認
- GPS/INS複合航法のコースティング能力を利用することで、プラズマバブル下において利用性の低下を改善できることを確認
 - INSのコースティング能力で利用性を有意に改善するためには、さらなる改良が必要であることを確認



まとめ, 今後の計画 (2/2)

- 弱いシンチレーションにおいて、INSを利用した信号追尾補強により搬送波位相誤差を低減できることを確認
 - サイクルスリップの確率(位相追尾誤差が45度を超える確率と仮定)を約3割低減できる可能性があることを確認
- タイ国KMITL大学に、GPS中間周波数(IF)データ取得装置を設置(NICTとの共同研究)し、プラズマバブル下における実シンチレーションIFデータを取得中
 - 実データで信号追尾アルゴリズムの評価を計画