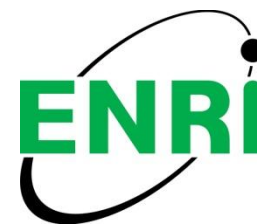


地上型衛星航法補強システム (GBAS) の開発と安全性要求の保証

電子航法研究所 航法システム領域

※福島荘之介, 齊藤真二, 吉原貴之,
齋藤享, 藤田征吾



Electronic Navigation
Research Institute

第12回電子航法研究所研究発表会 2012.6.7

- 研究背景
- GBASの概要
- 1. 安全性要求・設計プロセス
- 2. 危険事象の解析
- 3. 衛星異常に関するモニタ妥当性検証
- まとめ

- 将来の航空交通システム
 - NextGen(米), SESAR(欧), CARATS(日)
- 衛星航法による精密進入を実現するシステム
 - GBAS(地上型衛星航法補強システム)**
- GBAS(CAT-I)装置の開発段階(一部実用化)
- 電子航法研究所は, プロトタイプ装置を開発
 - 安全性設計技術, 我が国特有の課題**
 - 空港環境へ設置(関西国際空港)
 - 基本性能評価(飛行実験)
 - **国際標準の安全性要求を評価**

■ これまでの主な経緯

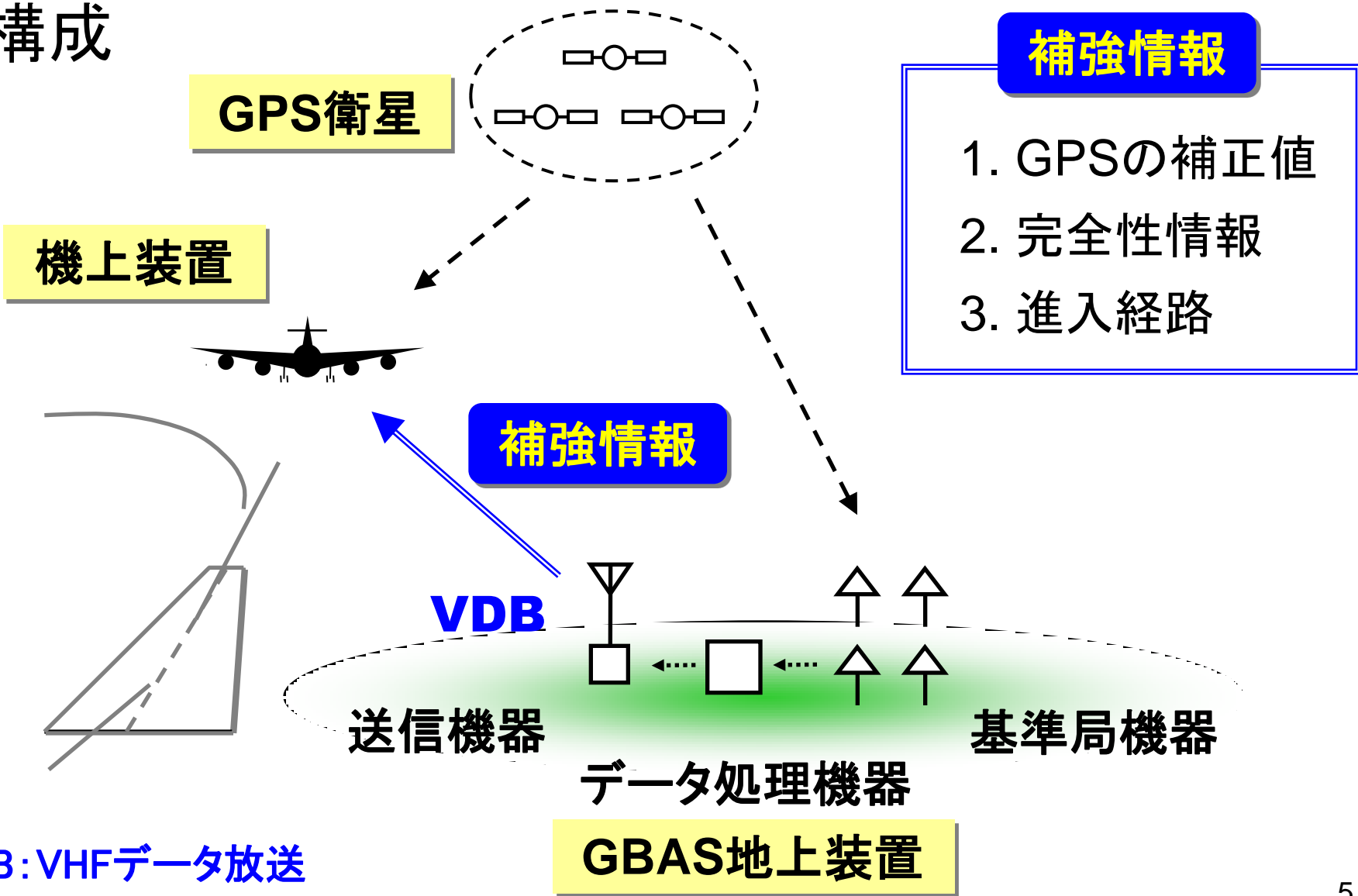
- 1995 ICAO 国際標準化活動開始
- 2001 CAT-I 国際標準発効
ILSより高精度, 安全性要求が課題
- 2005 ボーイング社737NG, 787への装備を発表
機上装置開発
- 2009 FAAはCAT-I装置の設計承認
- 2011 GBASを標準装備した787が就航

■ 主な海外動向

- 米国 : ニューアーク空港, ヒューストン空港
- ドイツ : ブレーメン空港 (2012年2月運用)

GBASの概要 2

構成



■ 主なメリット

- ILSに比較し高精度
 - 航法性能の向上
- 地上装置1式で複数進入方位に対応
 - コスト削減
- 高度な進入経路を設定する能力
 - 運航効率向上

■ **GLS** (GNSS Landing System) 装備機

**B737NG, B787, B747-8(標準),
A380, A320, A330/340**

1. 安全性要求

■ ICAO Annex-10 国際標準 CAT-I

➤ インテグリティ(完全性)

ユーザの安全が阻害されるとき, タイムリーに警報を発生する確実さの指標 → $1-2 \times 10^{-7}$ / アプローチ

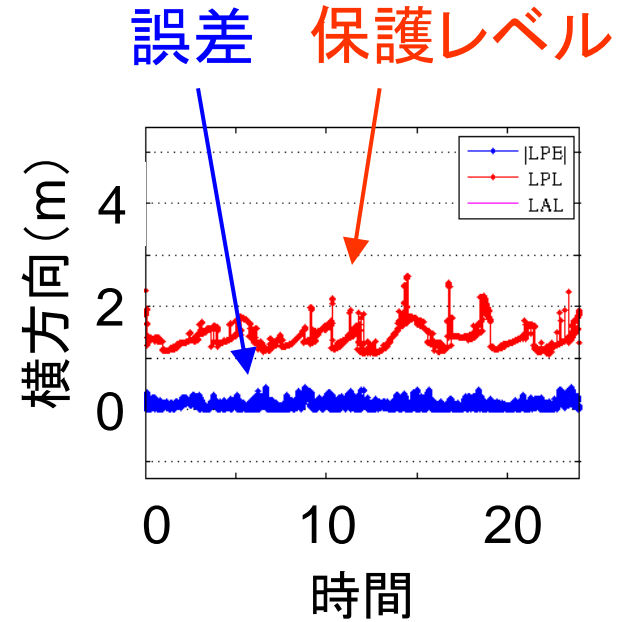
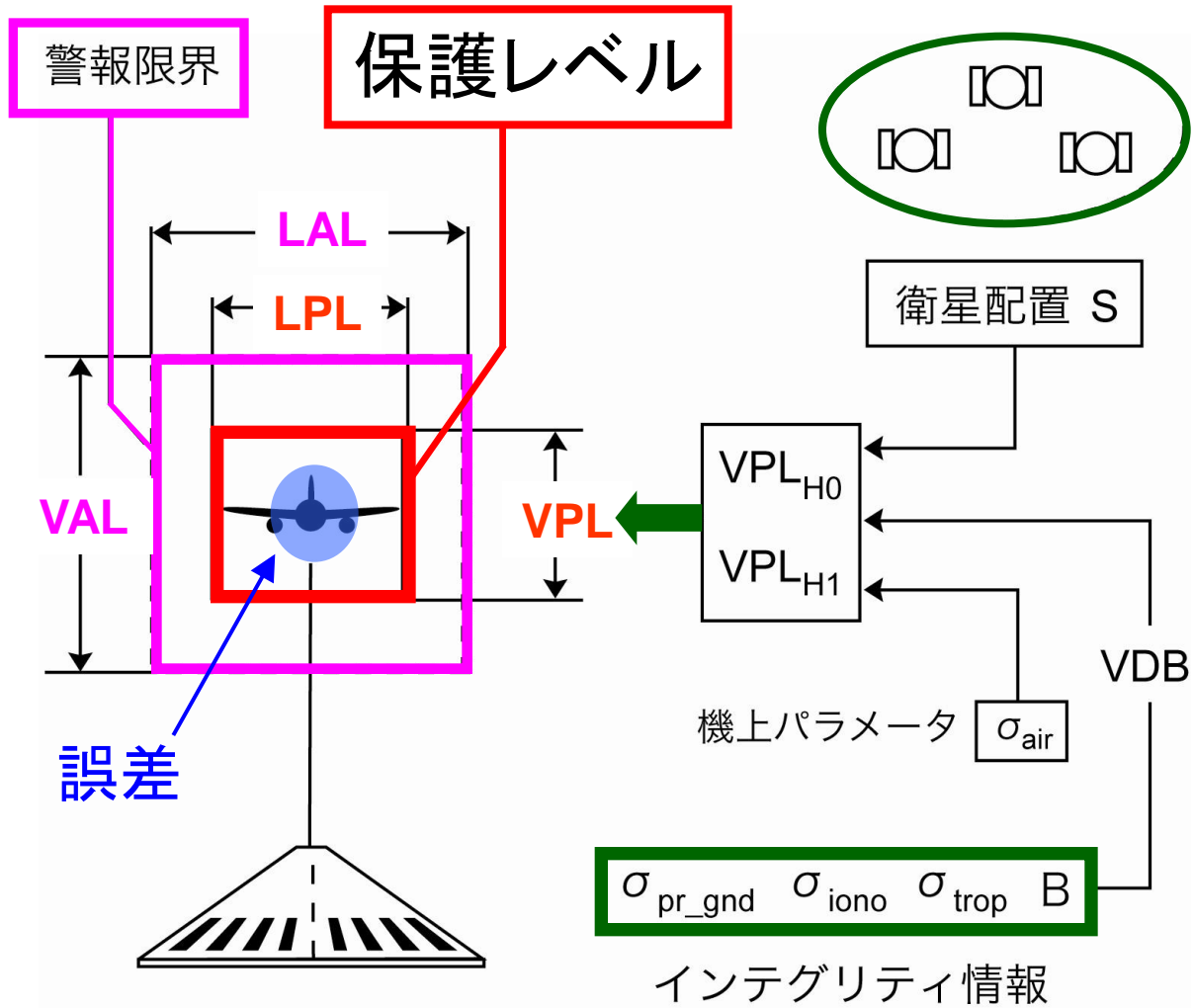
➤ コンティニュイティ(連続性)

警報を発生せずにサービスを連続して与えるための指標 → $1-8 \times 10^{-6}$ / 15s

➤ アベイラビリティ(有効性)

警報による中断なしにサービスを行う時間の割合 → 99~99.999%

1. 警報動作



CAT-I
 横方向警報限界(LAL): 40m
 垂直警報限界(VAL): 10m

※異常衛星を地上側で検知・排除

1. 基本設計プロセス

スレット 脅威

好ましくない潜在的な要因

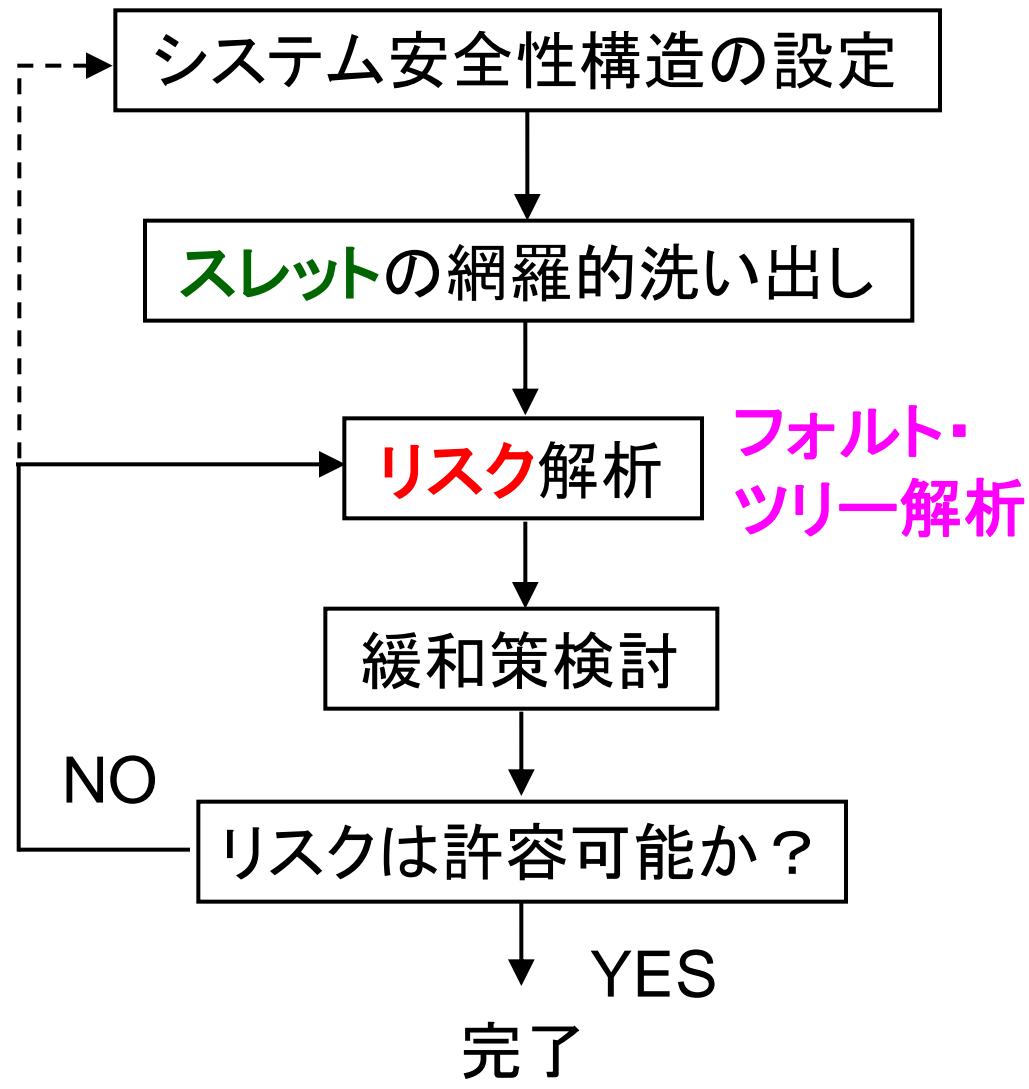
リスク

スレットが顕在化する可能性

リスクの体系化



安全性要求の
定量的評価

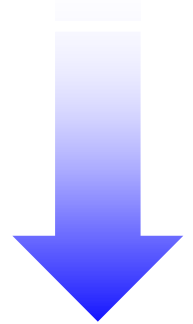


1. スレットとなる要因

- GBAS地上装置の故障
- GPS衛星・制御局の故障(信号異常)
- 電離圏擾乱

内部要因

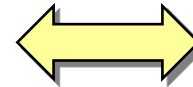
外部要因



不確実性大

衛星故障

- 信号歪み
- 擬似距離の加速度過剰
- コード・搬送波ダイバージェンス
- 放送暦異常
- 信号電力低下



- 送信系・原子時計
- 衛星軌道
- 放送データ

電離圏擾乱

※米国機材は電離圏脅威を北米大陸に限定

1. 主なリスク低減手法

■ 主要モニタ

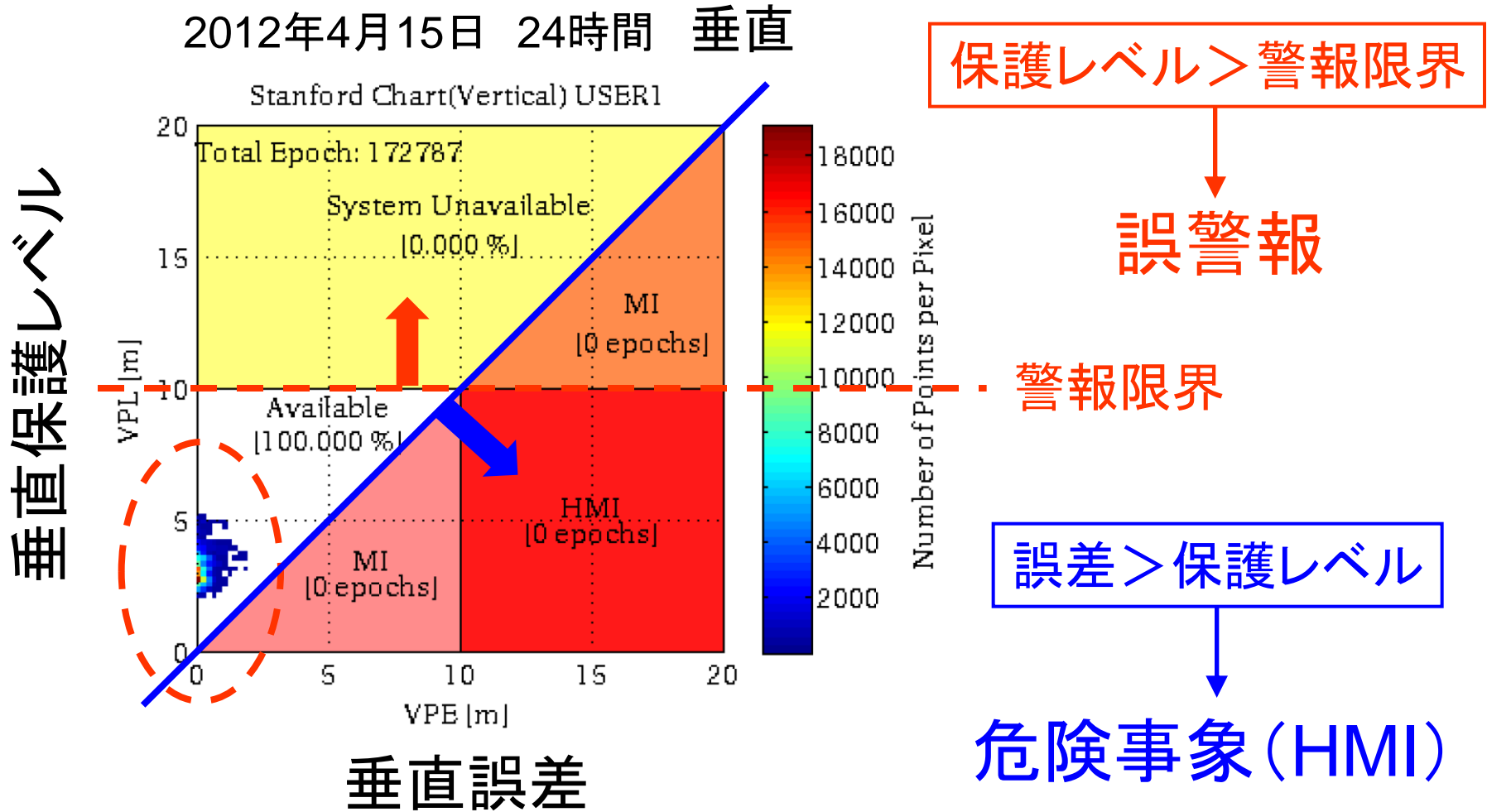
- 信号歪みモニタ
- 加速度過剰モニタ
- コード・搬送波ダイバージェンスモニタ
- 放送暦モニタ

■ リスク低減アルゴリズム

- ポジションドメインスクリーニング
- 電離圏フィールドモニタ (IFM)

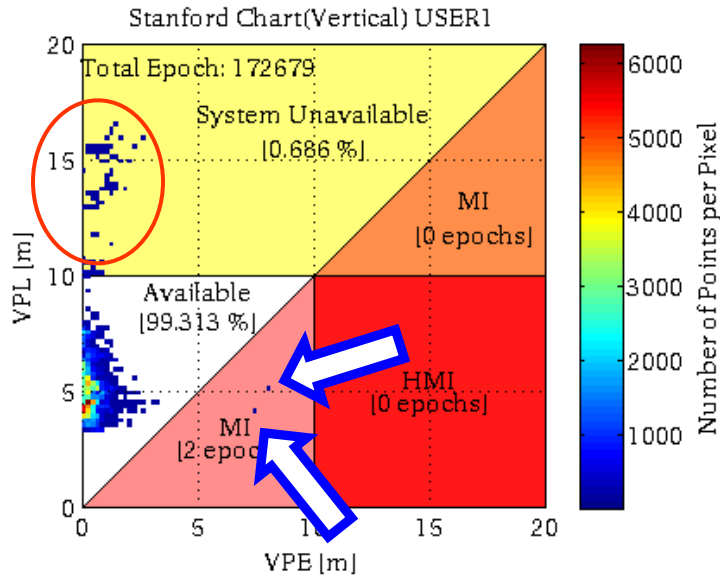
2. 危険事象 (HMI) の解析 1

スタンフォードチャート: 誤差と保護レベルの頻度分布

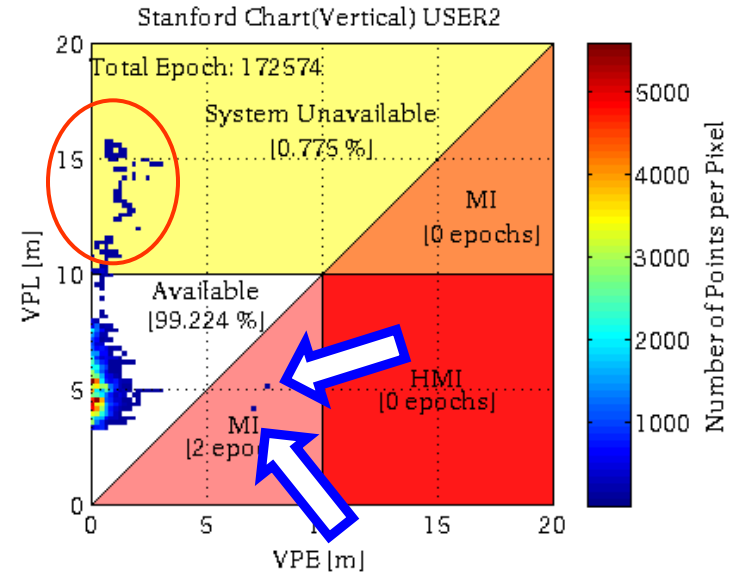


2. 危険事象解析 2

初期にHMIが発生した例:



擬似ユーザ局 **1**



擬似ユーザ局 **2**

- 取得データの分析による原因探求
- ソフトウェアの改版

2. 危険事象解析 3

原因分類:

- アルゴリズム記述文書(ADD)の誤り
- ADDの解釈の誤り(誤解を与える曖昧な記述)
- ADDと異なる実装が行われた
(コーディング段階での判断誤り)
- プログラム誤り(設計段階, コーディング段階)

対応:

- ADD修正
- ソフトウェア改版(3回)
現在HMI未発生(1年間のデータ)

実用機では航空用ソフトウェア開発指針(RTCA DO178/278)要求

3. モニタ妥当性検証 1

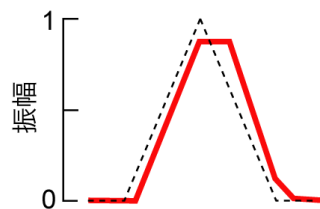
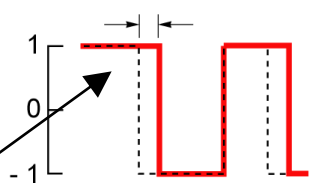
■ 信号歪みモニタ

PRNコード

相関関数

モデルA

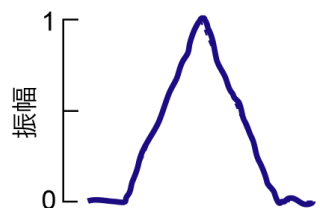
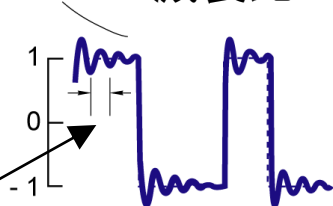
立ち上り時間 Δ



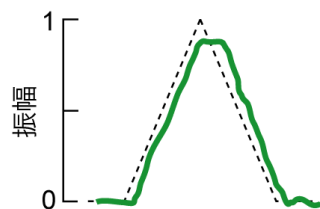
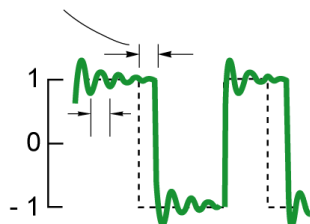
モデルB

共振周波数 $1/f_d$

σ 減衰比



モデルC



0 2 4 6

チップ

-1 0 1

オフセット

SV19問題

GPS衛星内のNDU故障
Navigation Data Unit

機上・地上受信機の
相関器等の違い



機上で距離誤差を発生

3. モニタ妥当性検証 2

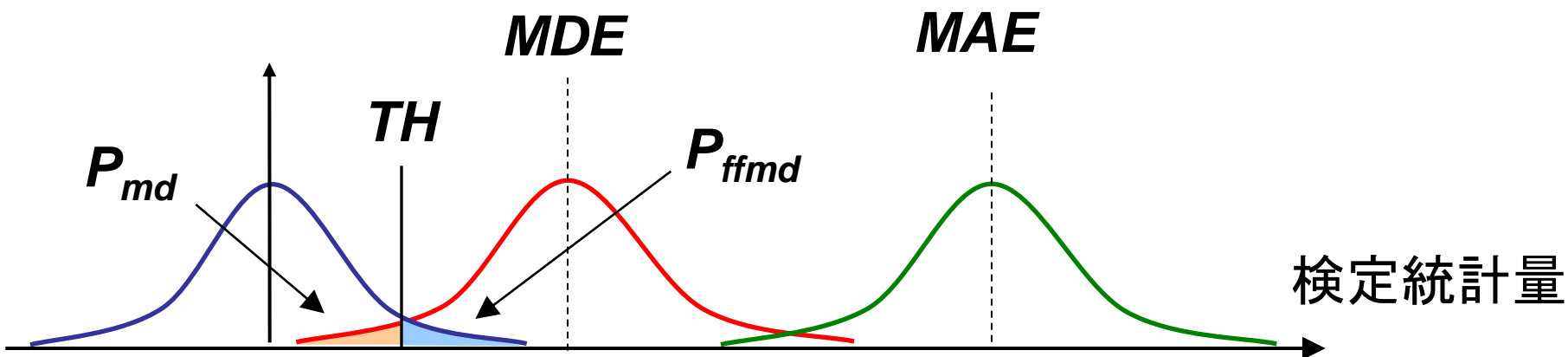
■ 信号歪みモニタ

- 脅威空間 (Δ, σ, f_d) を定義 → 国際標準
- 機上受信機タイプ [相関器 (2種類), 相関器前帯域幅]
- 計算機シミュレーション (空間探索)
- 機上の距離誤差 $\Delta\rho$ と検定統計量 ΔR の関係
- 衛星固有のバイアス誤差 → 感度解析 (観測データ)
- 最悪ケースでも要求確率で検知可能であることを検証

3. モニタ妥当性検証 3

■ 加速度過剰モニタ

- 衛星搭載原子時計の異常
- 搬送波位相の加速度成分を検定統計量とする
- 最小検知可能な検定統計量 (MDE) が許容可能な検定統計量の最大値 (MAE) が越えないことを検証



3. モニタ妥当性検証 4

■ CCDモニタ

- 衛星故障や電離圏擾乱により平滑化フィルタで誤差が蓄積され増加する現象
- 搬送波位相と擬似距離の差に2段階のフィルタを適用して検定統計量とする
- 許容可能な検定統計量 ($MADR$) を計算機シミュレーションによる最悪ケース解析で求める
- 最小検知可能な検定統計量 ($MDDR$) が $MADR$ を越えないことを検証

検定統計量に季節変動 → 電離圏活動に基因

- GBASの安全性要求を設計・検証するプロセス
- 実環境の連続データを用いたHMI解析
- 信号歪み・加速度過剰・CCDモニタの妥当性検証
- GBASの安全性要求を保証する設計指針を示した → 我が国でCAT-I GBASの実用化が可能

謝辞： 航空局交通管制部
大阪航空局関西空港事務所
関西国際空港株式会社