

航空無線航法用周波数の 信号環境測定とその応用



独立行政法人電子航法研究所
機上等技術領域

小瀬木 滋、大津山 卓哉、古賀 禎

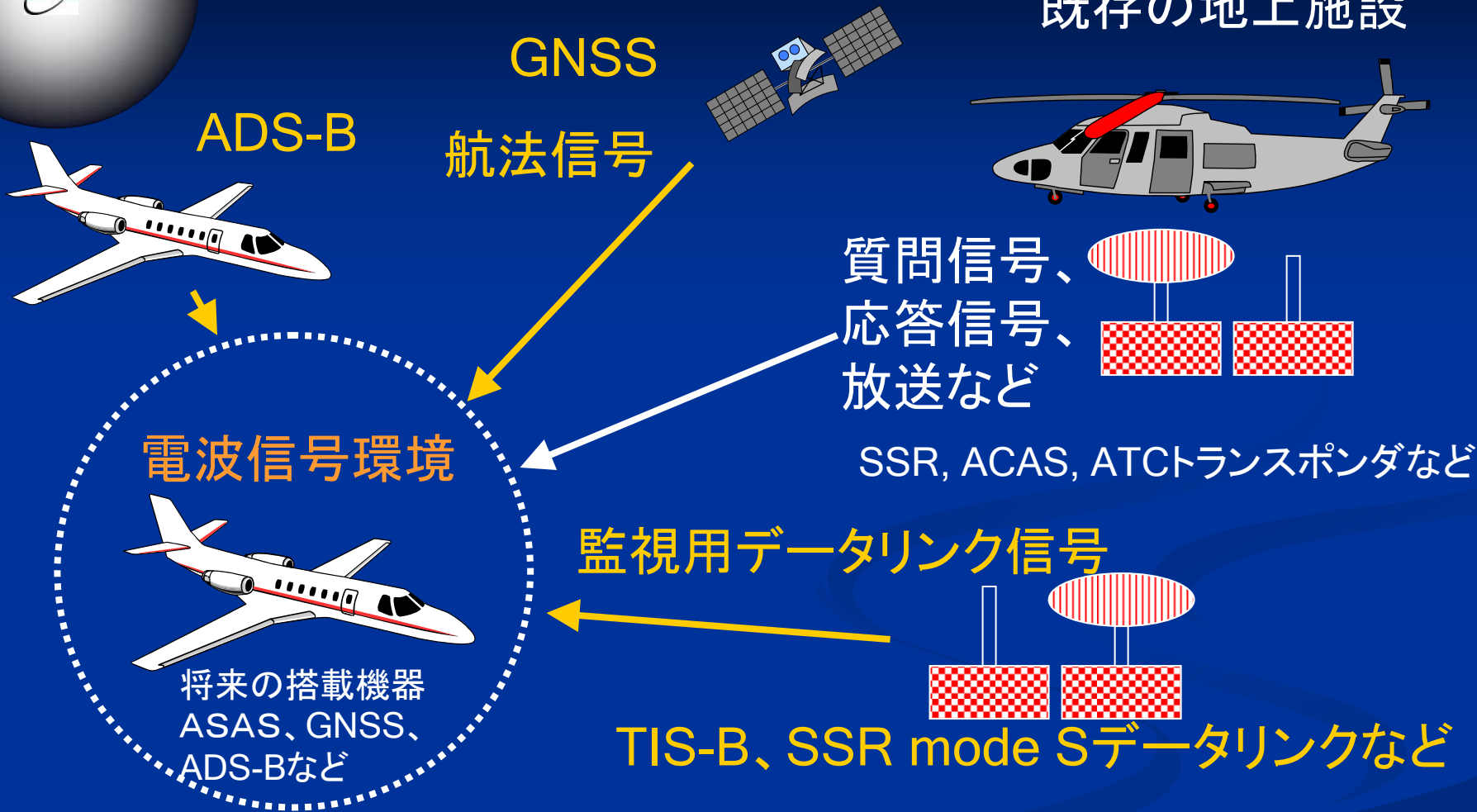
概要

- 背景： 航空無線航法用周波数の状況
- 無線システムの周波数共用
- 信号環境の測定手法
 - 広帯域長時間記録
 - 記録の詳細な分析
- 信号環境の測定例
- 今後の課題： 信号環境測定の実用



監視システムの例

既存の搭載装置
既存の地上施設



電波信号環境 = 目的の信号や干渉の発生状況

: 無線システム運用環境の一つ : 性能に影響

航空無線航法帯域の動向

ARNS : Aeronautical Radio Navigation Service

960MHz

1215MHz

帯域拡張困難 : 新旧システムが長期共用

既存の
無線機器
利用継続
信号増加

DME/TACAN

1030MHz

1090MHz

SSR/IFF, ACAS,
MLAT, WAM, ADS-B

JTIDS (軍用DL)

将来の無線システム

978MHz?

1176MHz 1202MHz

UAT

AMS

GPS-L5/GALILEO-E5

航空無線航法用周波数の状況

- ITU / WRC会議による周波数割り当て調整
 - ARNS帯域： 国際的に共通割当 保護
 - 既存信号の保護： DME/TACAN、SSR/IFFなど
 - 新信号の割り当て： GNSS、ARMS
 - 有害な干渉がない条件で運用承認： JTIDSなど
 - 周波数資源は逼迫： ARNS帯域の拡張は困難
- 新旧信号が比較的長期間共存： **周波数共用**
 - 新旧システムの共用性と運用性能の両立
 - ICAO / ASPは1030/1090MHz信号環境調査
- 各国の周波数監理： **適切な運用の実施責任**

無線システムの周波数共有

干渉を前提とした方式を採用：信号発生を管理

| 航空無線機器 | 通信方式 | 信号 |
|---------------------|------------------|-------------|
| DME/TACAN | ランダム | ガウシヤンパルス |
| SSR/ACAS SSRモードS | ランダム スケジューリング | 方形パルス、DPSK |
| UAT | TDMA/ランダム | 台形パルス、CPFSK |
| GPSなど | CDMA | CWスペクトラム拡散 |
| JTIDS/MIDS | TDMA、FH | パルス、CPFSK |

信号環境の測定手法

- 受信信号波形測定
 - デジタルオシロスコープ等
 - 短時間の測定
- 信号検出トリガパルスの計数
 - 受信機デコーダとカウンタ
 - デコーダ特性の影響
- 受信電力の周波数分布測定
 - スペクトラムアナライザ等
 - 長時間累積測定

広帯域信号への多チャネルパルス干渉の測定が困難

広帯域電磁信号環境記録装置

測定手法開発

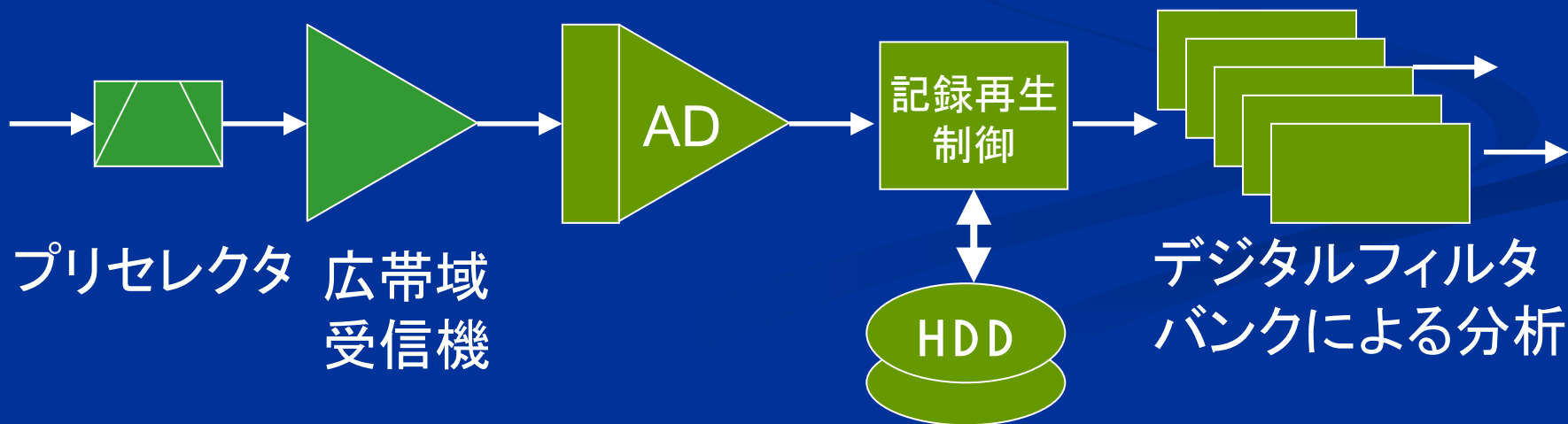
広帯域一括測定分析：30MHz目標

DME/
TACAN

JTIDS

新システムの広帯域信号

多チャネル
干渉発生



広帯域電磁信号環境記録装置

必要な帯域内の情報を一括連続記録

| 仕様 | 携帯型 | 高精度長時間型 |
|----------|---------------|----------|
| AD変換精度 | 12 bits | 16 bits |
| 最大AD変換速度 | 100 MS/s | 100 MS/s |
| スループット | 10 MS/s | 100 MS/s |
| 最大連続記録時間 | 10 秒 | 1時間以上 |
| 用途 | 予備実験 機動的測定 | 詳細記録分析 |



AD変換部

記録部

スループット 100MS/s
ダイナミックレンジ 90dB
16ビット 1ch
連続記録 1時間以上

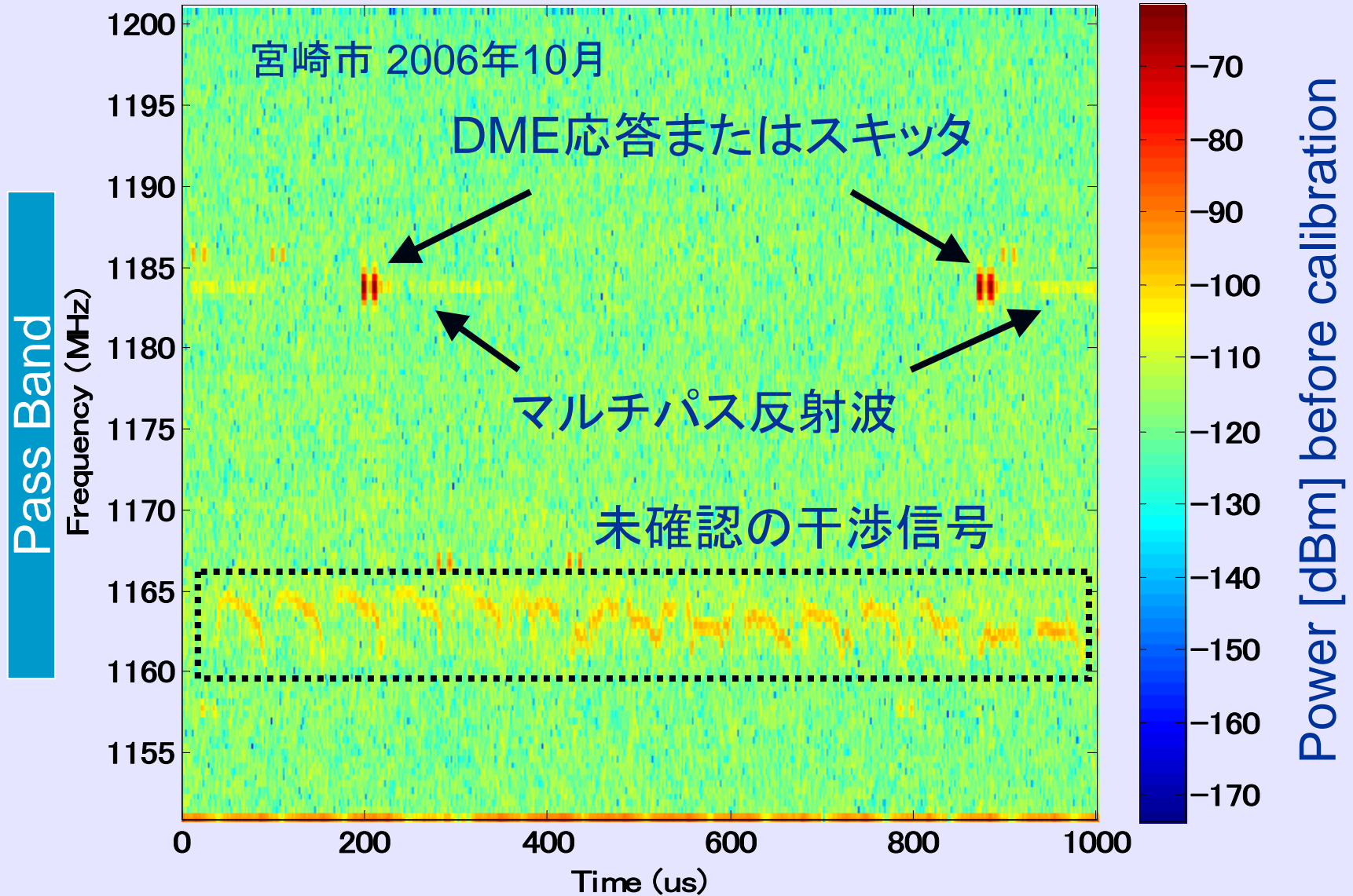
広帯域電磁信号環記録装置

信号環境の測定例

GPS-L5帯域内の干渉信号測定

- 目的： 測定や信号分析の手法確認
 - 手法を試験するためのデータ測定記録
- 機材： 可搬型予備実験装置
- 成果： 測定や分析方式を確認
 - 信号環境報告RTCA DO-292に不備の可能性
 - マルチパスや未知の干渉信号などを確認
- 発表： RTCA SC-159 (2006年11月)他

予備測定飛行実験：干渉信号実態調査



今後の課題

■ 技術的課題

- B99への実験機器搭載工事と飛行実験
- 高々度測定： 将来のGNSS環境飛行検査方式
- 信号環境予測手法の開発改良と精度検証

■ 信号環境測定の実用

- 新システム導入シナリオ策定支援
- 信号環境や機器運用性能予測の精度向上
- 信号環境再生による機器評価試験
- 不良システムや干渉波源の特定

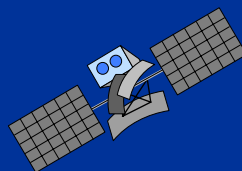
新システム導入シナリオ策定支援

定量的判断

現状

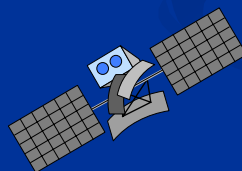


シナリオ1



干渉による性能劣化

シナリオ2



許容範囲内

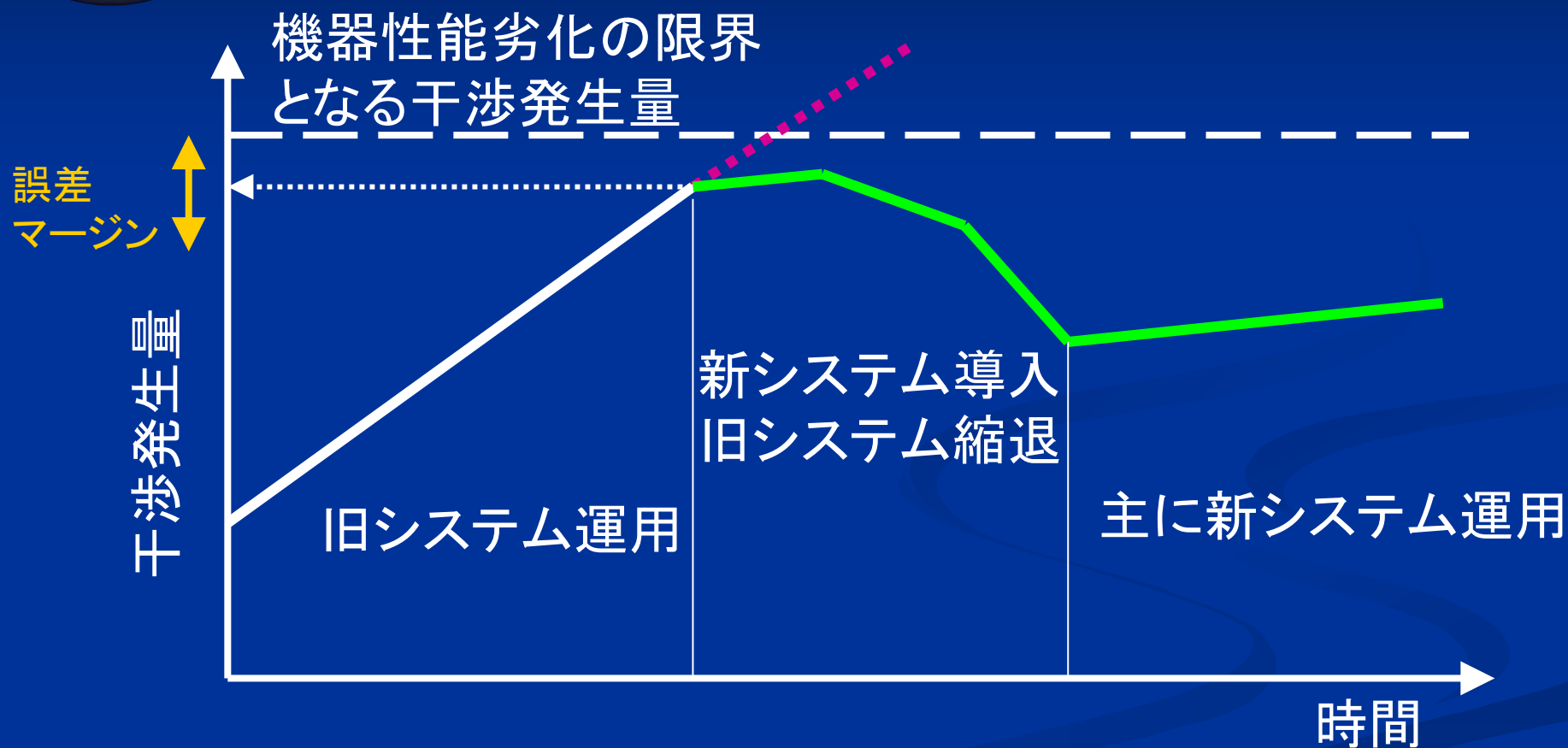
信号発生量制限

設置位置選択

周波数変更

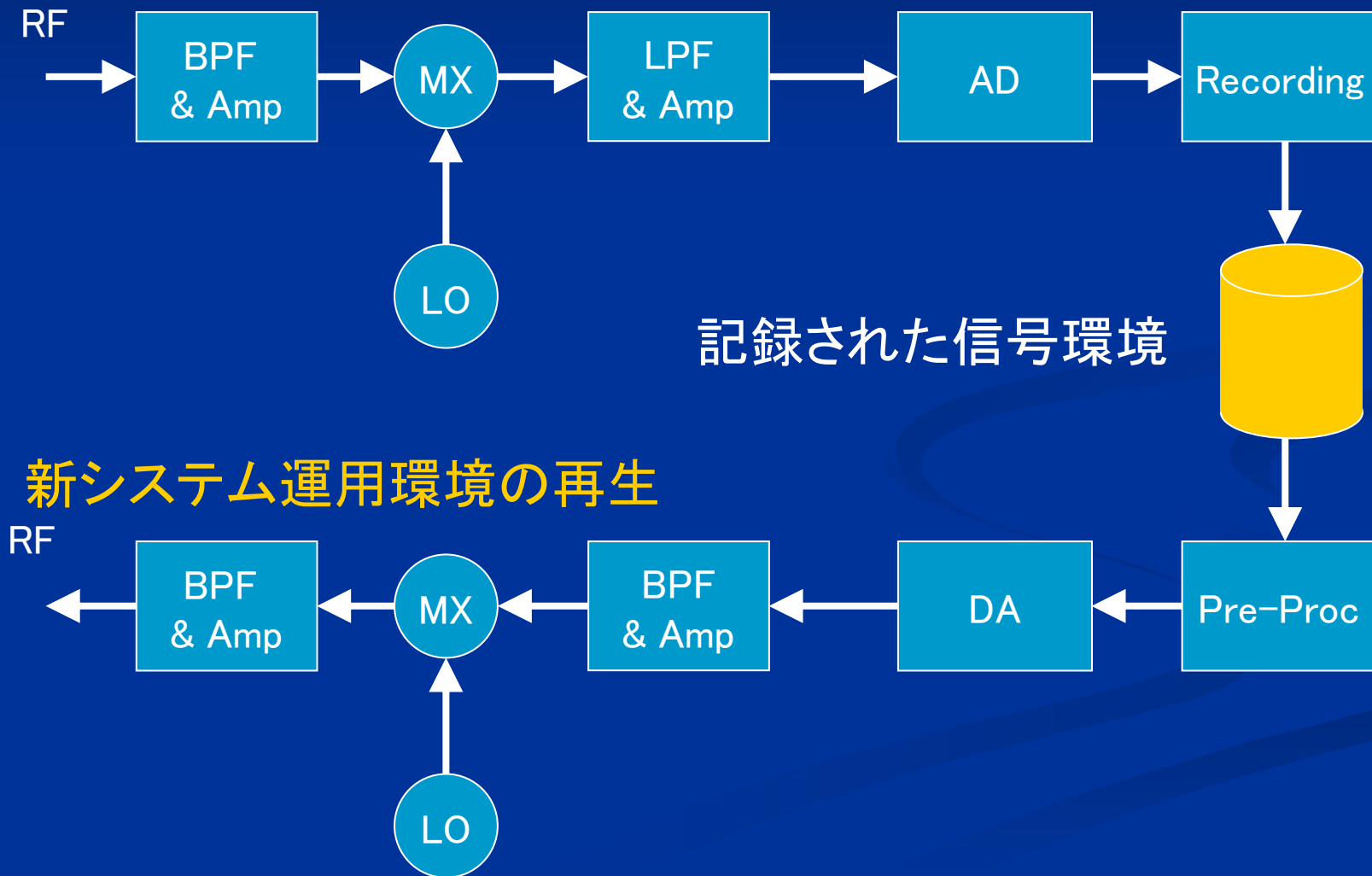
信号環境予測とその検証のための測定結果活用

信号環境や機器運用性能予測

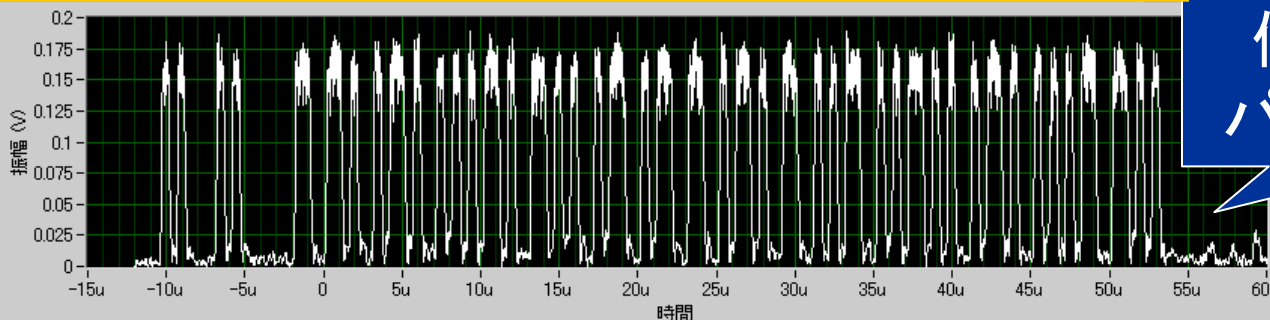


信号環境予測精度が将来計画の精度に影響

信号環境再生による機器評価試験



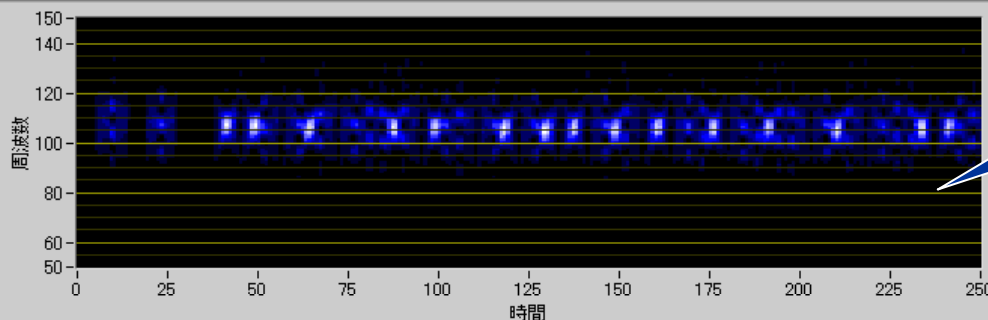
モードS応答信号品質調査への活用



信号受信波形
パルス配置確認

名前
1174003200.2583
パリティ値
0
応答アドレス
86
時刻(JST)
9:00:00.000
2007/03/16

結果

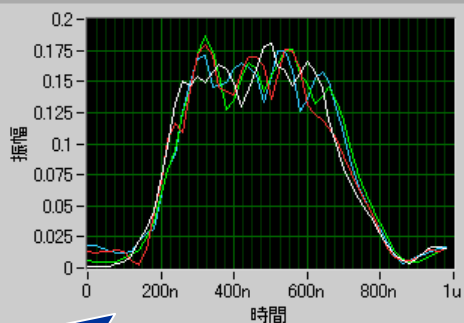


受信周波数の
時間変化

受信時刻
アドレス等



符号解読値
解読信頼性



立ち上がり時間

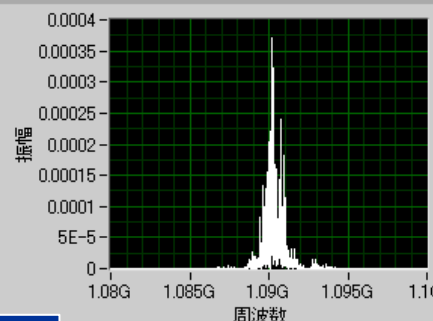
128.53n

立下り時間

238.59n

継続時間

489.02n

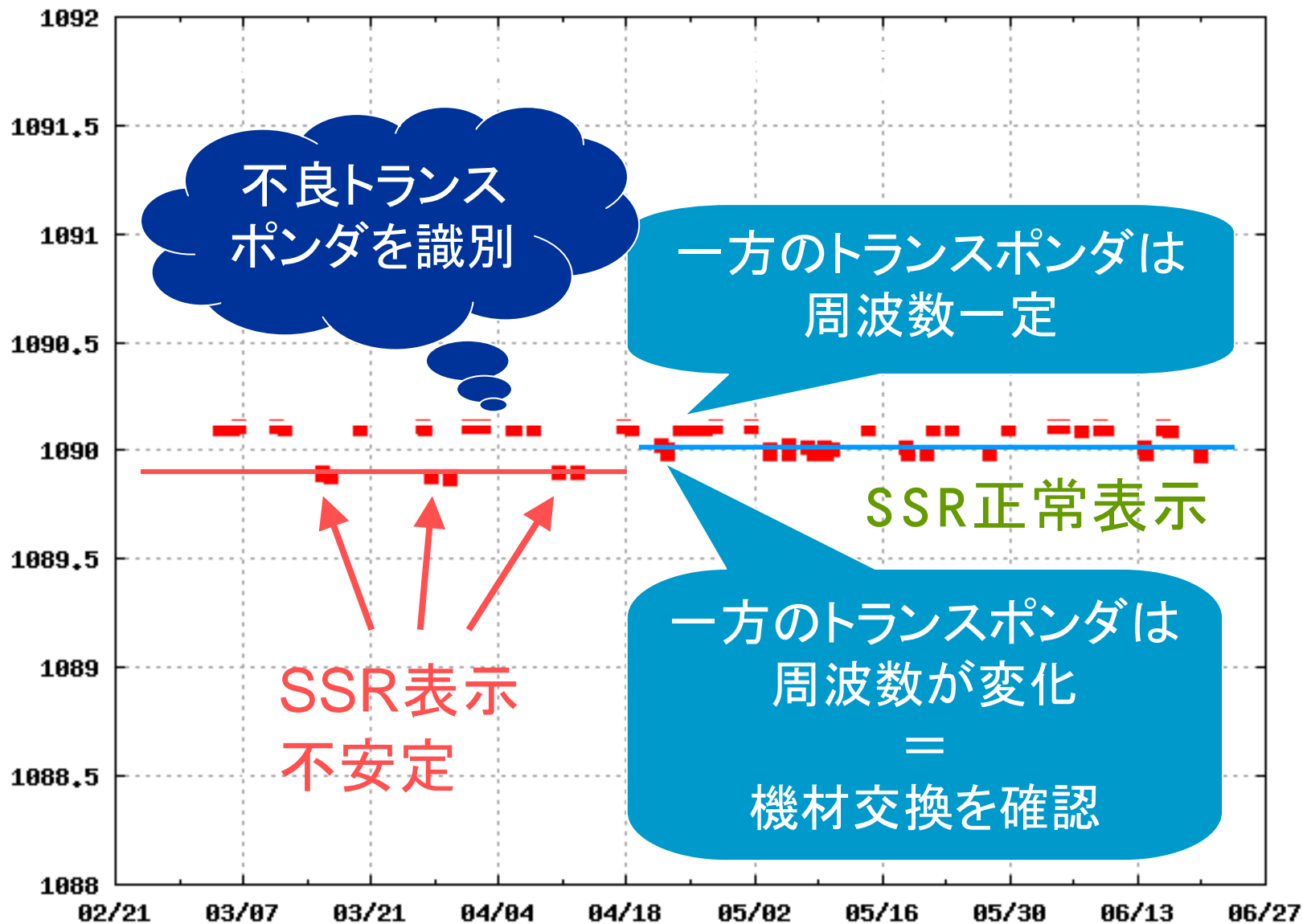


スペクトラム
アナライザ
表示

パルス受信信号波形

パルス波形
測定値

応答信号周波数 [MHz]



受信測定日

まとめ

- 信号環境測定の必要性
 - 信号環境＝無線機器運用環境
 - 環境維持改善＝性能維持改善
 - 新旧システムの共用条件実現と確認が必要
- これまでの成果と課題
 - 測定方式の確認と測定機器の実現
 - 現時点で可能な信号環境測定の活用例
 - 信号環境測定の応用に向けた課題



ご静聴感謝します

ニーズと課題

新旧システム運用の安全性と経済性の向上

- 国情に即した新旧システムの共用手法
 - システム選定や運用方式選定のための定量的判断
 - 導入場所や時期など導入シナリオ選定支援
- 新システムの提案や評価のための基礎技術
 - 共用性が必須条件

課題 : 信号環境の測定・予測手法の確立

時期 : H21年頃には共用手法確立(航空局)

電波信号の増加例

- DMEの増設 (ARNS)
 - RNAV経路の実現 (精度と信頼性向上)
 - 空港周辺飛行経路の改善
- SSR等の増設 (1030 / 1090)
 - 管制官の状況認識向上、覆域の穴埋め
 - ACASの普及
- 通信機器増設
 - セクタ増加への対応による新規チャネル割当
- 新しいシステム導入
 - ADS-B / TIS-B これらを活用するGS / AS
 - GNSS
 - CPDLC等

信号環境関連研究の動向

- 米国: JSC、MITRE、MITによる研究
 - 信号環境予測 : TCAS改良、GNSS導入対策選定
 - 干渉試験 : UAT干渉対策案の検証
- ドイツ: DFSによる研究
 - 信号環境測定 : 飛行検査システムGIMOSの開発
 - 信号環境を配慮した監視システム導入戦略立案
- 英国: NATS、QinetiQによる研究
 - レーダ信号環境シミュレーション : SSR運用方式選定
 - Quadrant(ADS-B環境測定)、RAMS(JTIDS運用監視)

各国独自の周波数監理 : 国情に応じた研究
軍用機器と周波数共用 : 詳細は非公開

目標レベル設定と有効性(1)

- 信号環境予測手法開発：**活用分野に適合**
 - 共用性判断のための干渉信号発生量予測が可能
 - DME/TACANとJTIDSの信号発生予測：GNSS共用性
 - UATの信号発生量予測：DME共用性
 - ASAS導入による総合的な信号発生量の変化
 - 実験により検証された予測精度：実用性
 - 期間中の受託研究にも対応可能：即効性
 - 無線設備規則等関連電波法規の改定支援＝円滑な無線局申請
- 信号環境測定手法開発：**必要性と実現可能性**
 - 30MHz以上の広帯域一括測定と信号分析
 - GPS-L5 / Galileo-E5に対応する帯域幅
 - 研究期間中に適切なコストで入手可能なレベル
 - 予測精度検証や飛行検査機器開発に使用可能

実用的 目標レベル設定と有効性(2)

- 動向調査：方針調整や将来予測の根拠
 - 予測計算条件の設定：ASASの動向に着目
 - 干渉限界となる条件
 - 研究計画の方針調整
- 共用性向上のための活用手法：ニーズ対応
 - 電波信号環境予測結果を活用
 - 多様な共用手法の効果を定量的に比較可能
- 次々世代システムの基礎技術：波及効果
 - 信号モデルや機器動作シミュレーション技術
 - 多様な提案システムの共用性評価ベンチ

研究の効率性：研究の進め方

- 手順と手法 : 実証的に誤りを防止
 - 的確な方針 : 動向調査により方針調整
 - 正確な結果 : 理論と実験の照合による検証
- 研究期間 : 情報取得と成果活用が可能な時期
 - 情報入手 : 運用要件など外部研究の報告予定
 - 成果活用 : 成果活用対象事業や関連研究の時期
- 年次計画 : 他の計画と同期し実現性を配慮
 - 情報入手 : 新システムの開発計画と同期
 - 機材調達 : 十分な性能の機器を可能なコストで
 - 成果活用 : 関連研究への成果活用時期

研究の効率性：実施体制と予算

- 所外との連携：調査作業の効率化と人員確保
 - ICAO/SCRSP、ASAS-RFG、航空局主催委員会など
 - 連携しうる大学・研究機関を調査中（東京天文台等）
- 所内との連携：研究資源の活用
 - 関連研究成果の活用：ASAS関連信号環境
 - 研究者の相互支援：新旧システムの情報
- 予算：適切な購入時期と目的集中投資
 - 実験機器の性能価格動向を配慮
 - 所内資産活用、不足する機能性能の改善に集中投資

信号環境の測定例

- 広帯域一括測定の可能性確認と実現
 - 測定機器の製作:長時間連続測定を実現
 - 実験機器の改良による商品化
- 予備測定による測定方式の確認
 - 短時間測定データを用いる分析手法確認
 - マルチパス、干渉信号源(人工雑音)の確認
- 測定分析方式の活用
 - モードS応答信号品質の調査
 - GPS-L5帯域内干渉状況予備調査実験

今後の課題

- 実験機器の航空機搭載と測定実施(H20予定)
- フライトチェッカー機による高々度測定
 - 将来のGNSS環境飛行検査方式への寄与も期待
- 干渉信号の影響分析(緊急性が高い物から)
- 干渉信号源の探求と干渉対策立案支援
- ASAS等新システムの運用予測
 - 将来の信号需要や発生量の予測に活用
- 信号環境予測手法とりまとめと支援ソフト作成
 - CNS機器導入戦略の立案支援を目指す

円滑なCNS機器導入＝ATM環境への円滑な移行

受託研究等への成果活用

- JTIDS等国内展開基準の作成
 - GNSSへのJTIDS干渉防止基準作成(予定)
- モードSトランスポンダ応答信号品質調査
 - 信号測定と分析方式を活用
 - 測定結果から不良トランスポンダを検出
- 1030MHz帯域干渉実態調査
 - 信号測定と分析方式を活用(測定機器製作中)
- 1090MHz帯域信号環境調査
 - ADS-B実現可能性検討の基礎: ICAO/ASPへ