

将来の航空監視技術と 信号環境の変化



小瀬木 滋

大津山 卓哉

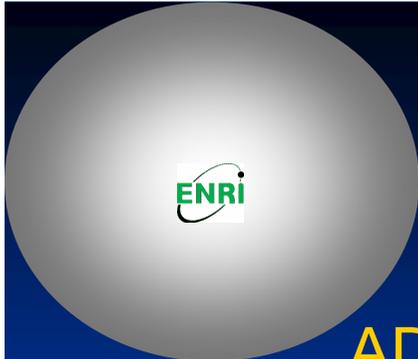
古賀 禎

(独)電子航法研究所



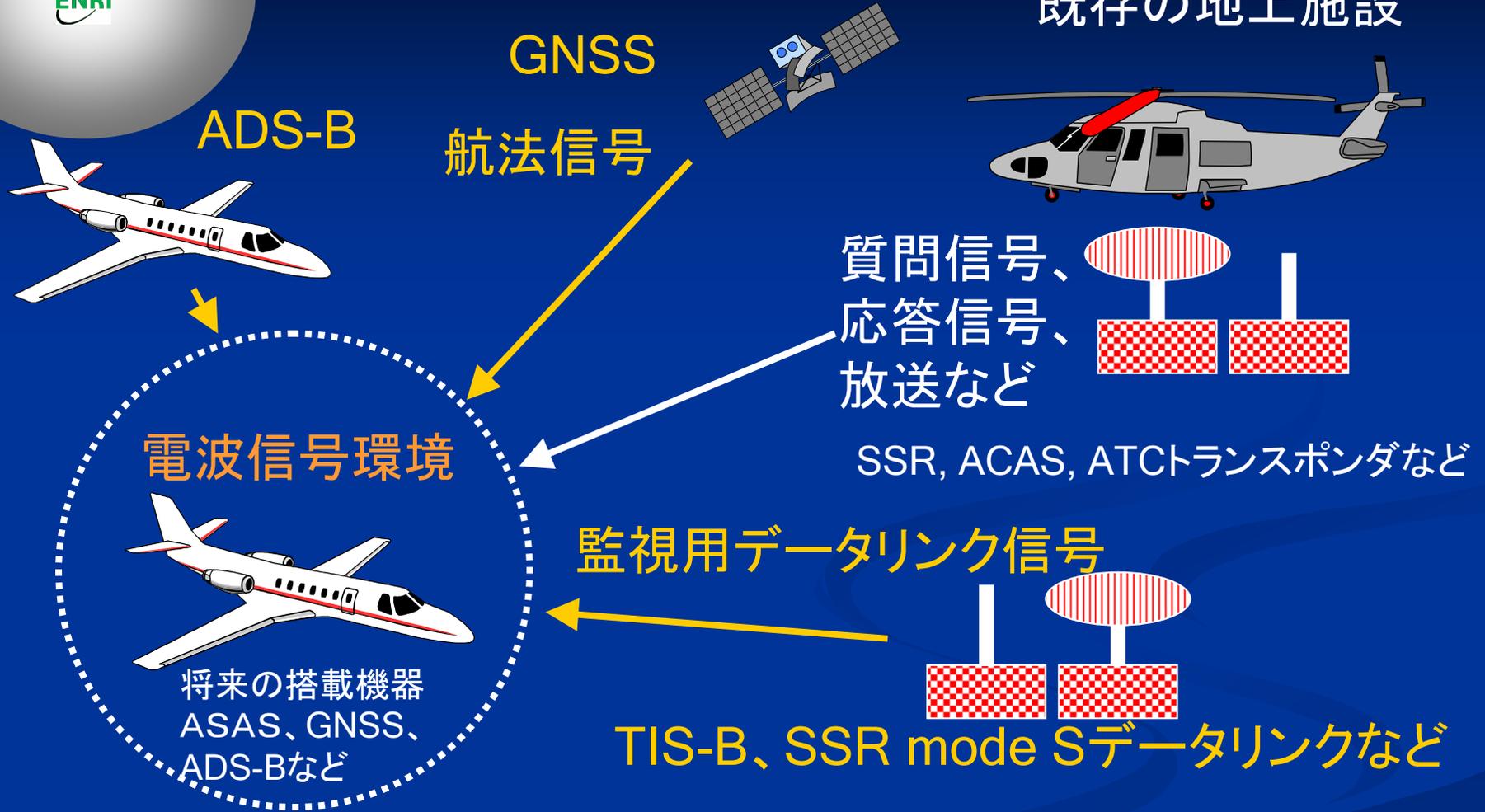
概要

- 背景: 信号環境予測の必要性
 - 電波信号環境とは
 - 航空無線航法用周波数の現状
 - 航空監視システムの概要
- 信号環境の予測手法
 - 基本
 - 誤解読の補正: マルチパス、低電力質問信号
- 信号環境の概算例: MLAT
- 今後の課題



電波信号環境

既存の搭載装置
既存の地上施設



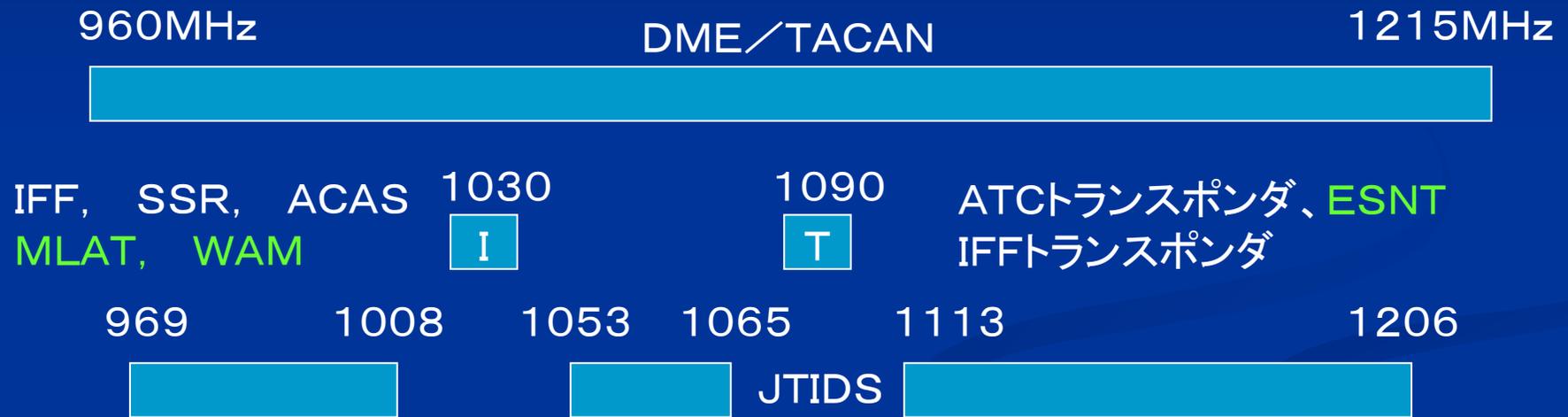
電波信号環境 = 目的の信号や干渉の発生状況

: 無線システム運用環境の一つ : 性能に影響



航空無線航法用周波数L帯

既存の無線システム



将来の無線システム



限られた周波数帯域＝新旧システムの長期にわたる共用



次世代監視方式

監視方式	既存装置	次世代装置
独立非協調	PSR	MS-PSR
独立協調	SSR距離 ACAS距離	MLAT, WAM, TIS-B, 複合監視ACAS距離
従属協調	SSR高度 ACAS高度 ADS-C	ADS-B, ADS-R, DAPs, 複合監視ACAS受動モード と高度

多くの装置が1030/1090MHzを使用

信号環境
予測が必要

1030および1090MHzの信号

1090MHz ADS-B
モード S 拡張スキッタ



ATCトランスポンダ



トランスポンダ
占有率や応答
能力の限界

信号

信号解読能
力の限界



ADS-B 受信機

干渉

1090MHz
応答信号



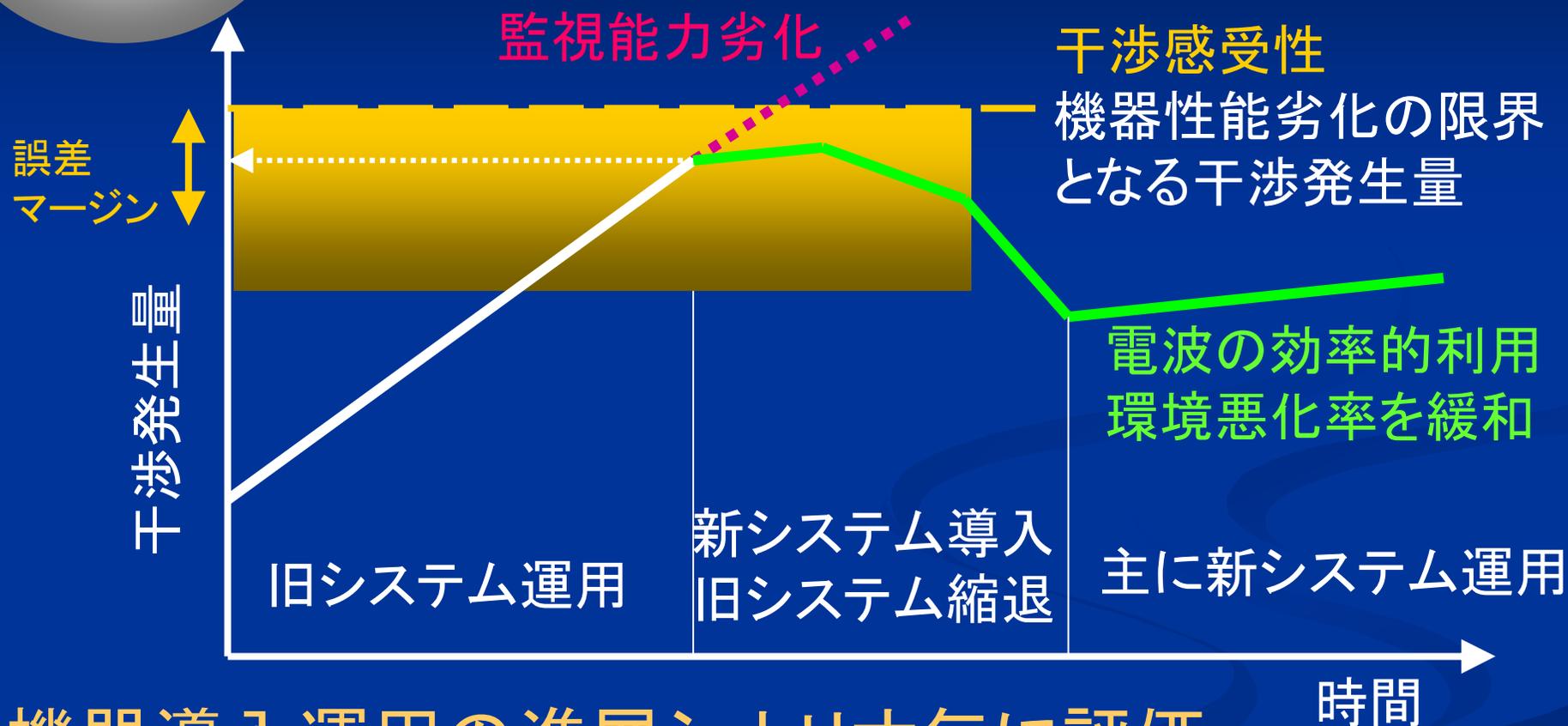
ACAS, SSR, SIF/IFF, etc.

1030MHz
質問信号





信号環境や機器運用性能予測



機器導入運用の進展シナリオ毎に評価
信号環境予測精度が将来計画の精度に影響
性能限界と機能限界のどちらが先か？



応答信号発生数の概算

トランスポンダあたりの信号数

等価的な受信質問信号数

$$t = (1-c) \int R(p) d(p) dp + s$$

応答信号数
ベクトル
(同波形信号)

応答率行列

トランスポンダ占有率

= 質問信号を受信しても応答できない確率

スキッタ送信数
ベクトル

質問信号受信電力

質問信号数ベクトル



1030/1090MHz環境予測手順

- 1030/1090MHz送信機シナリオ作成： 配置
 - SSR, IFF, ACAS, 搭載IFF
 - ATCTトランスポンダ, IFFトランスポンダ
- 受信される信号数算出： 覆域、機器動作
- マルチパス反射波誤解読の補正： $d(p)$
- 低電力質問信号誤解読の補正： $R(p)$
- 解読される質問信号数の算出： 積分
- 1090MHz応答信号数の算出

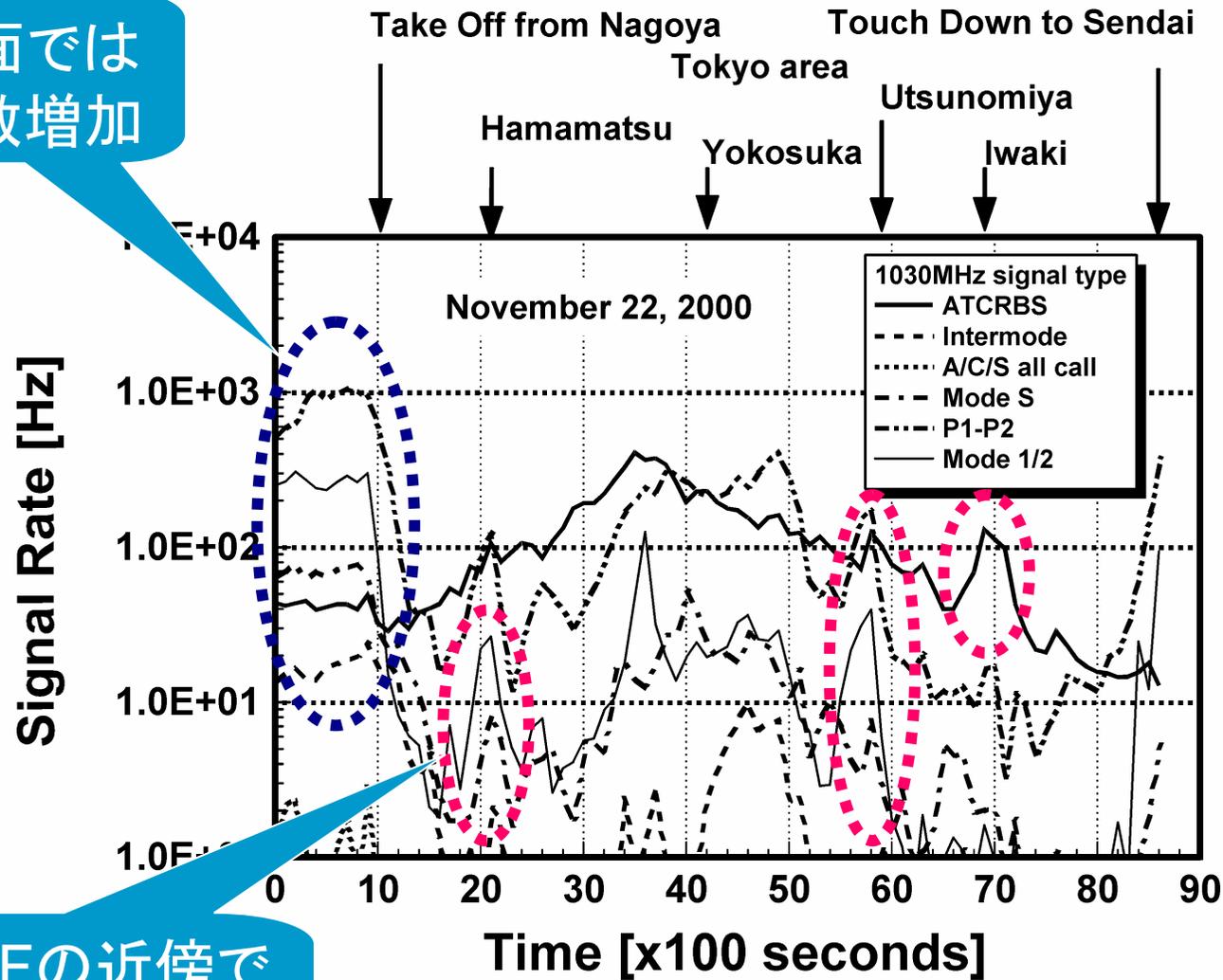


マルチパス反射波の誤解読

空港面では
信号数増加

1030MHz信号受信解読数

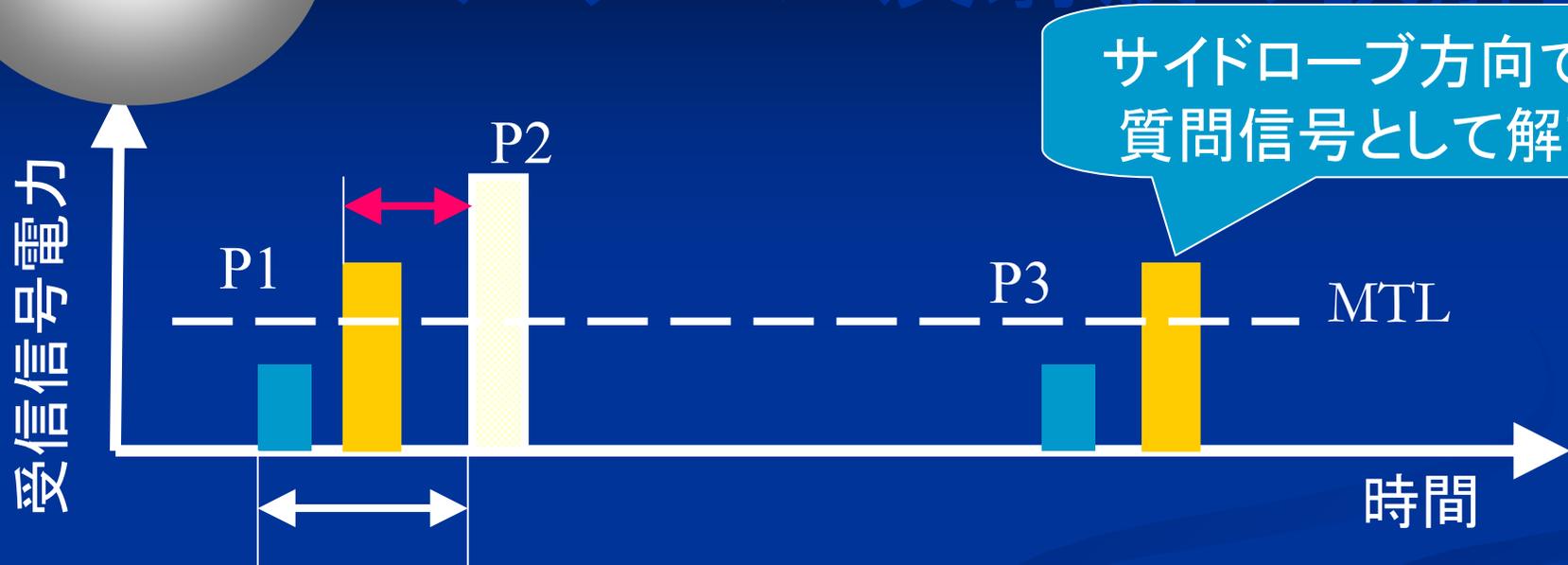
SSRやIFFの近傍で
信号数増加



名古屋空港から仙台空港へ航空路を飛行



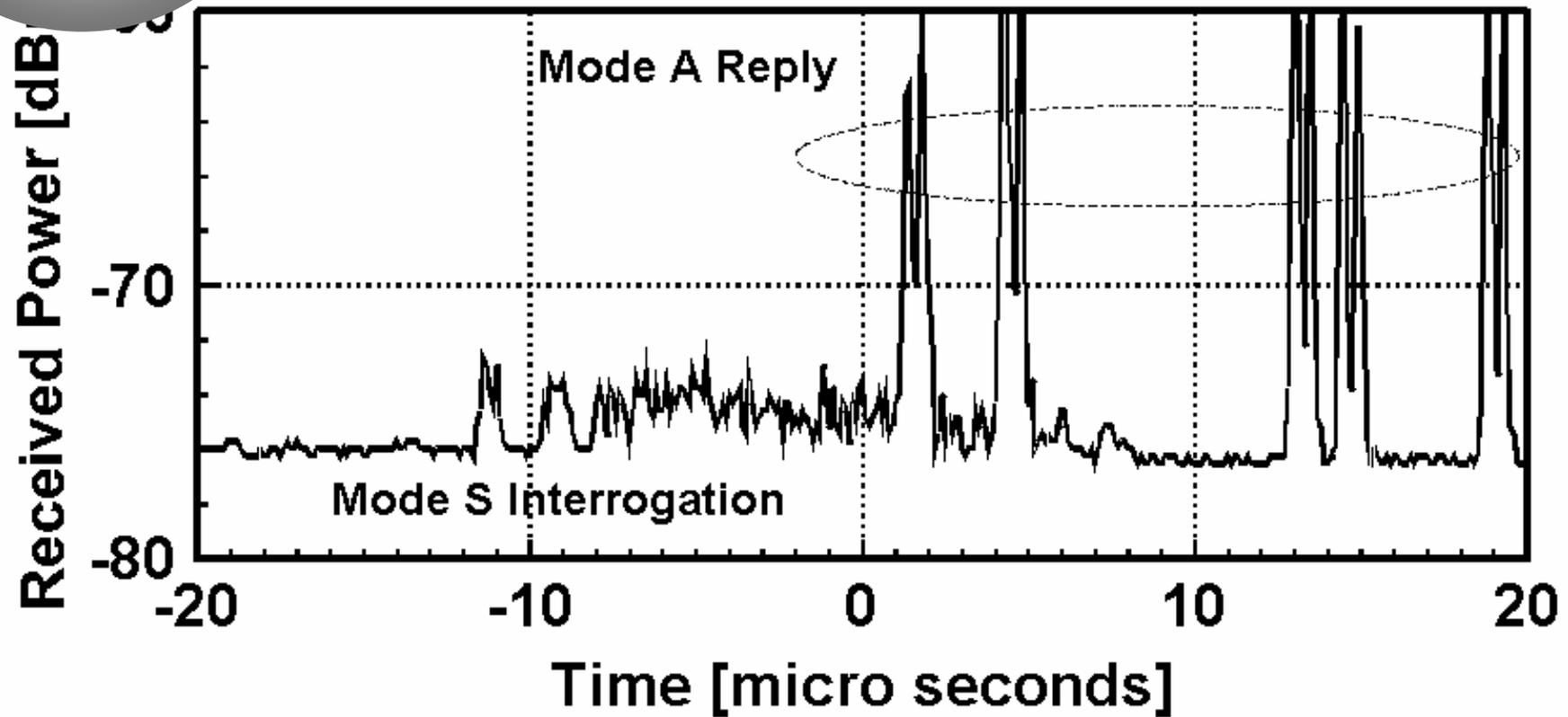
マルチパス反射波の誤解読



誤解読数 \sim (ビーム幅 / 360) \times 送信レート \times アンテナ回転周期



低電力質問信号の誤解読

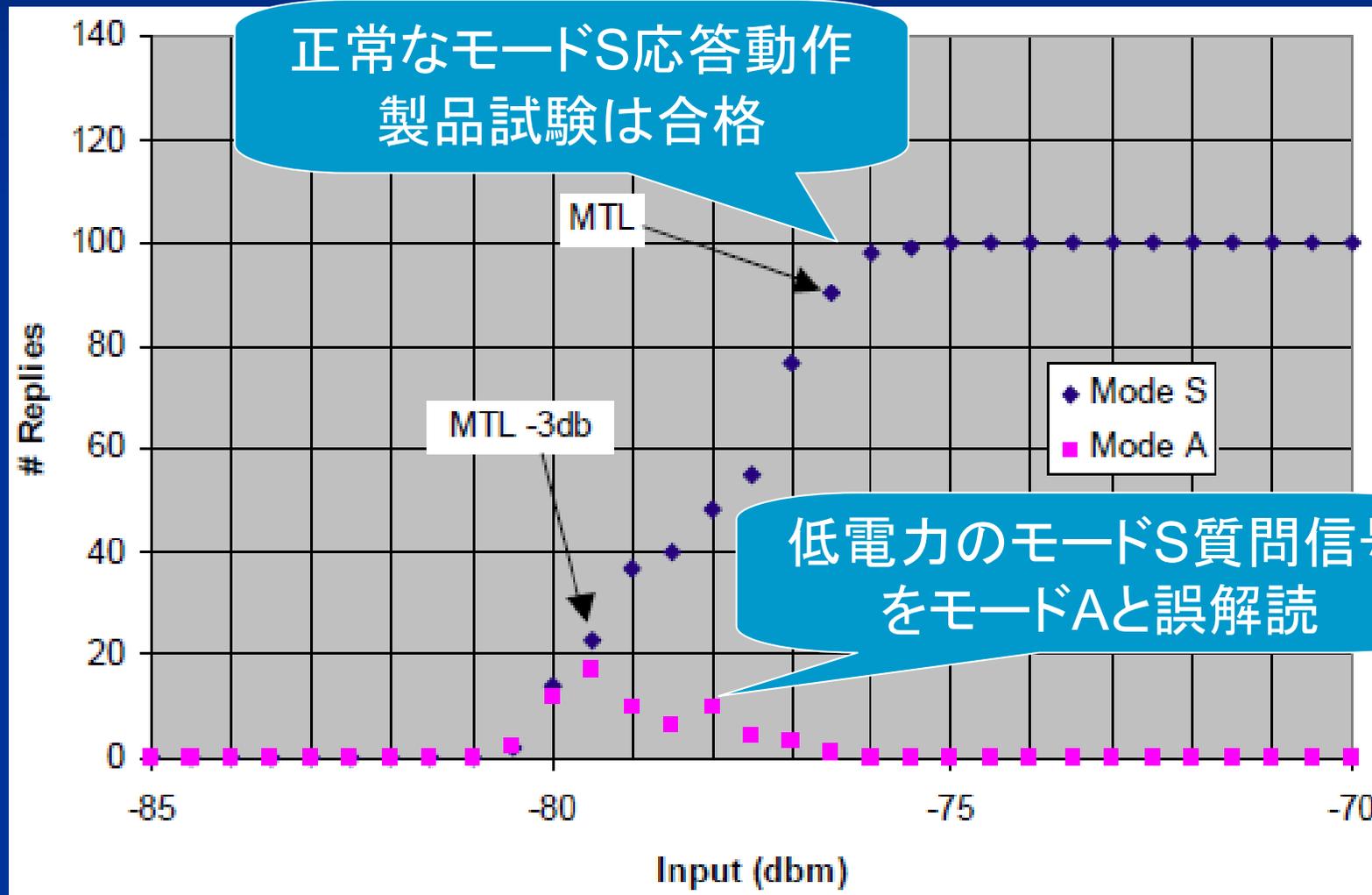


- 航空機運用のためのモードSトランスポンダがモードA応答
- 実験用モードSトランスポンダのモードA検出トリガに同期



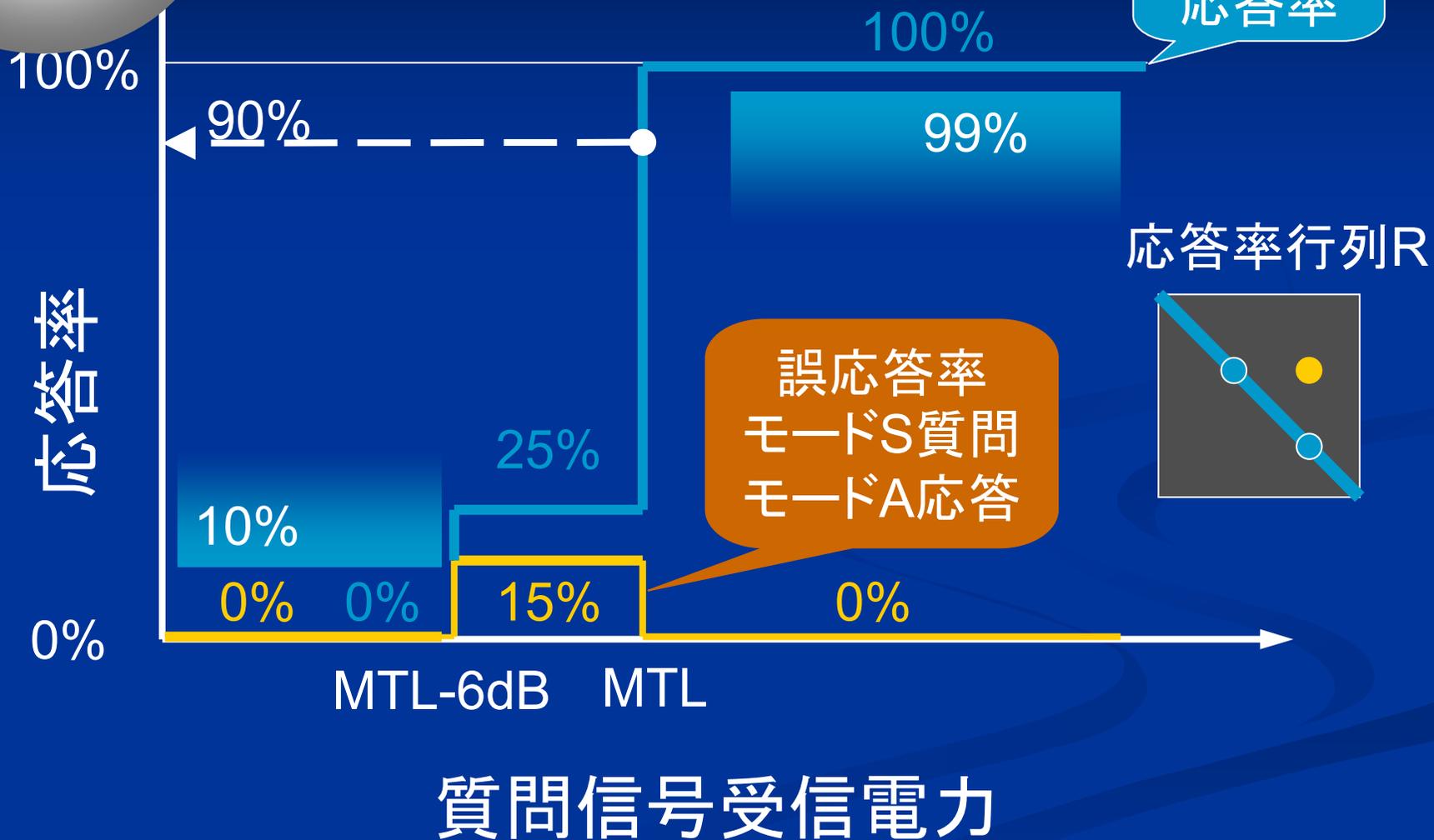
FAAによるベンチ試験結果

RTCA SC209 2008年2月会合資料より





応答率行列の近似





低電力質問信号の送信機数

送信機は
面積一様分布と想定

信号受信電力が
MTLになる距離

受信位置

MTL-6dBとなる距離は
MTLの場合の2倍

面積 A
機数 N

面積 $3A$
機数 $3N$

多数の送信機の質問信号を
低電力で受信
= 多数の誤解読



信号環境変化の概算結果

1030MHz 信号モード	モードA/C		モードS	
	現状	+MLAT	現状	+MLAT
送信質問信号数	46	46	37	131
反射波誤解読	59	76	0	0
低電力誤解読	65	154	0	0
等価質問信号数	169	277	37	131
ICAO上限	1200		自機50,合計1200	

東京空域の2009年質問信号環境を想定
トランスポンダが解読する信号数概算値を示す



信号環境変化の概算結果

1090MHz 信号モード	A/C	S Short	S Long
MLATなし	4610	198	9.3
MLATあり	7518	201	9.8
欧州の現状	>6757	>666	>159

東京空域の2009年信号環境を想定
全ATCTトランスポンダが低電力質問信号を誤解読すると想定
欧州の測定データは誤解読なしの条件



今後の課題

- 予測精度の向上と検証
 - 無線機器運用状況を確認しながら信号環境測定
 - 計算値と測定値の比較
- 監視性能の信頼性因子の予測
 - 性能限界に至る信号環境の限界を超える確率
 - 時間変動がAvailability, Continuity等の算出に必要
- 他の周波数帯域の信号環境予測
 - MS-PSRの周波数帯域など
 - 参照波源、干渉波源、クラッタのモデル化

まとめ

- 信号環境予測の必要性
 - 性能限界に至る前に対策立案
- 航空監視システムの平均信号環境予測
 - 実験結果を基にした計算モデル作成
 - 1030/1090MHz信号環境を概算: MLATの例
- 今後の課題
 - 予測精度の向上と検証
 - 監視性能の信頼性因子の予測: 分散予測が必要
 - 他の帯域の信号環境予測: MS-PSRなど



ご清聴を感謝します

- この研究は「航空無線航法用周波数の電波信号環境に関する研究」の一部として実施されました
- この研究の成果は総務省にて航空無線通信委員会の資料として採用され、MLATおよびESNTの導入が有害な干渉を与えないことを示すことに活用されました
- 航空局、FAA、RTCA他、この研究に寄与されました皆様に感謝申し上げます

BACKUPS



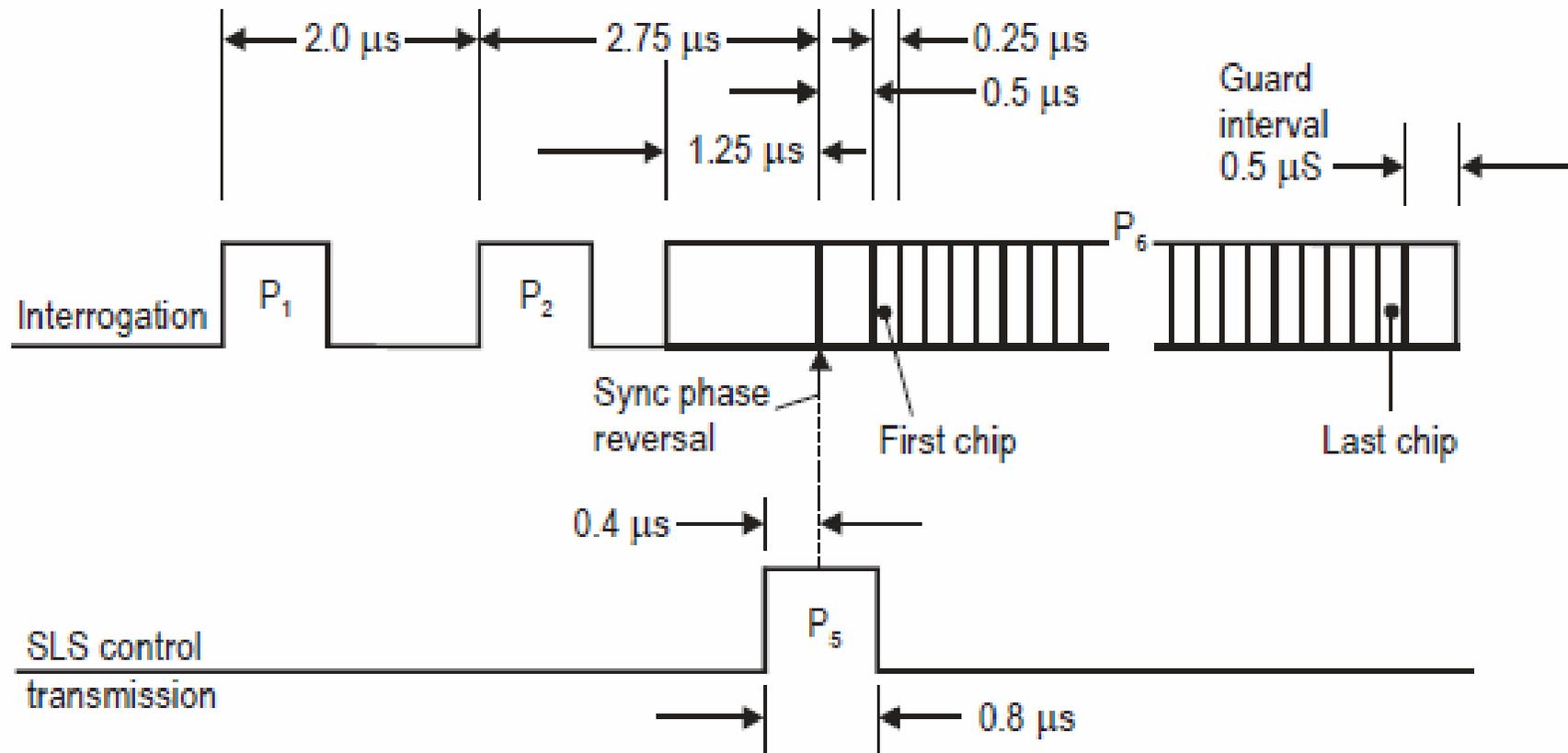
トランスポンダの動作

質問モード	トランスポンダと応答動作			
	従来型		モード S対応型	
	軍用	民間	軍用	民間
1 / 2	従来型	無応答	従来型	無応答
3 / A / C	従来型	従来型	従来型	従来型
4	4	抑圧	4	抑圧
A/C only all call	従来型	従来型	抑圧	抑圧
A/C/S all call	従来型	従来型	S	S
S roll call	抑圧	抑圧	S	S

信号環境を推定するための質問信号の分類

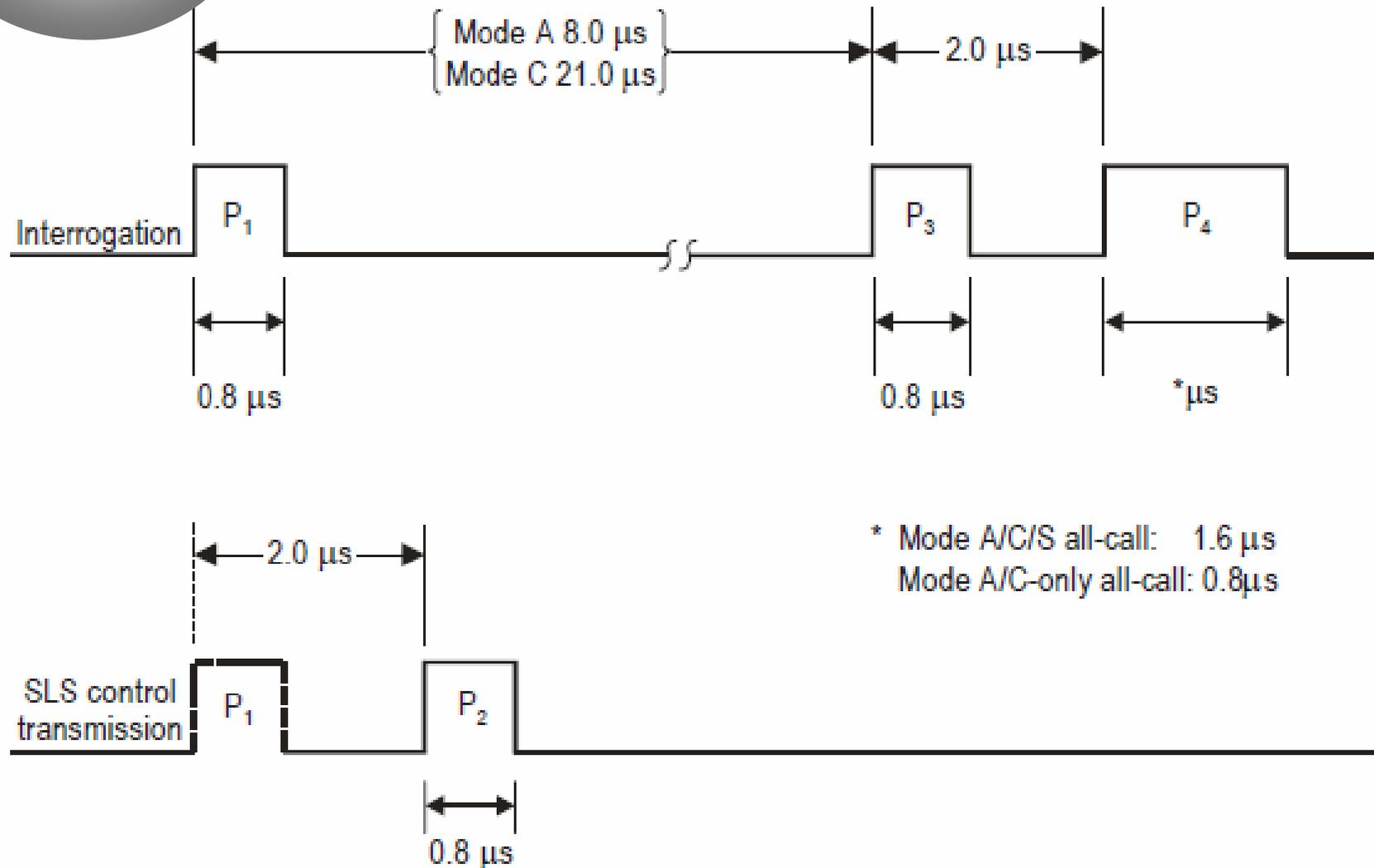


モードS質問信号



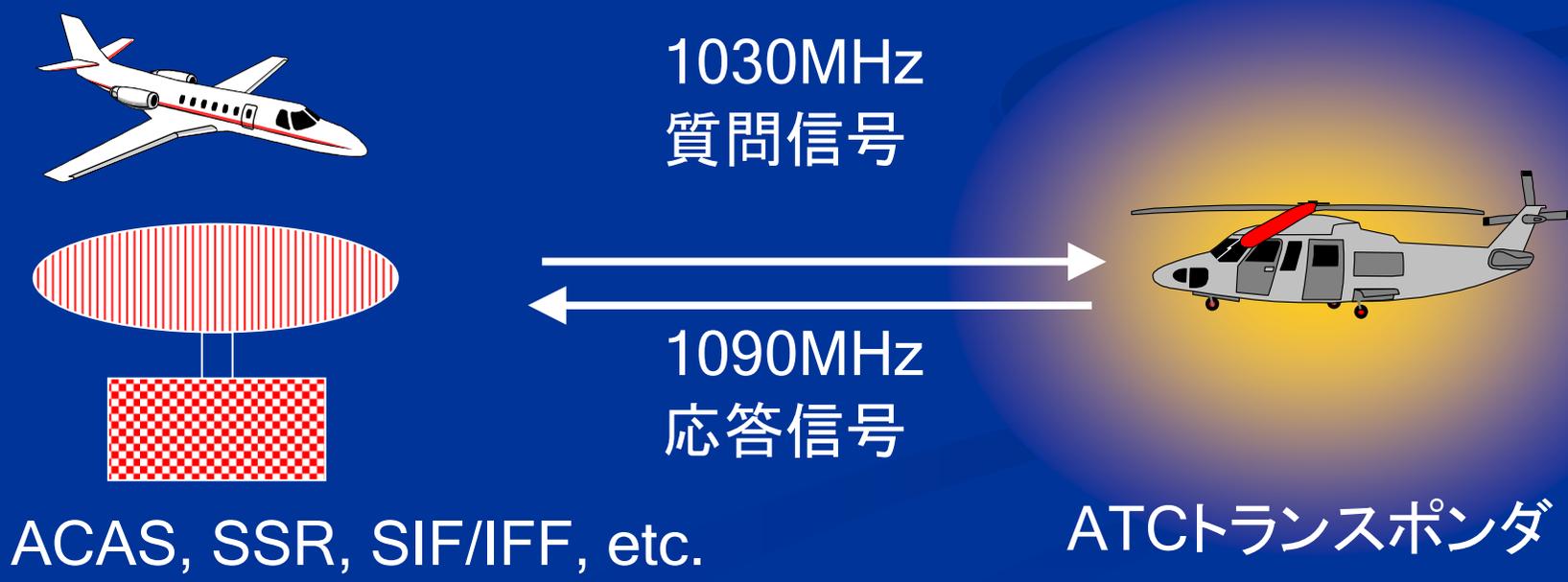


インターモード質問信号





ATCトランスポンダの送受信信号





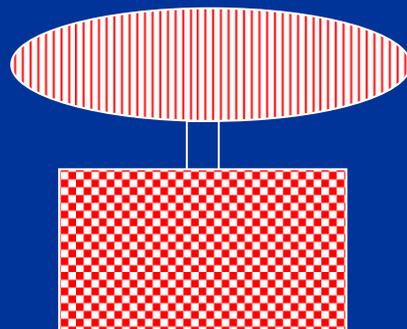
1090MHz帯の信号

コトランスポンダ

従来型応答信号：モード1, 2, 3/A, C



1090MHz
応答信号
スキッタ



ACAS, SSR, SIF/IFF, etc.



データパルス

フレーミングパルスペア

モードS応答信号

プリアンブル データブロック





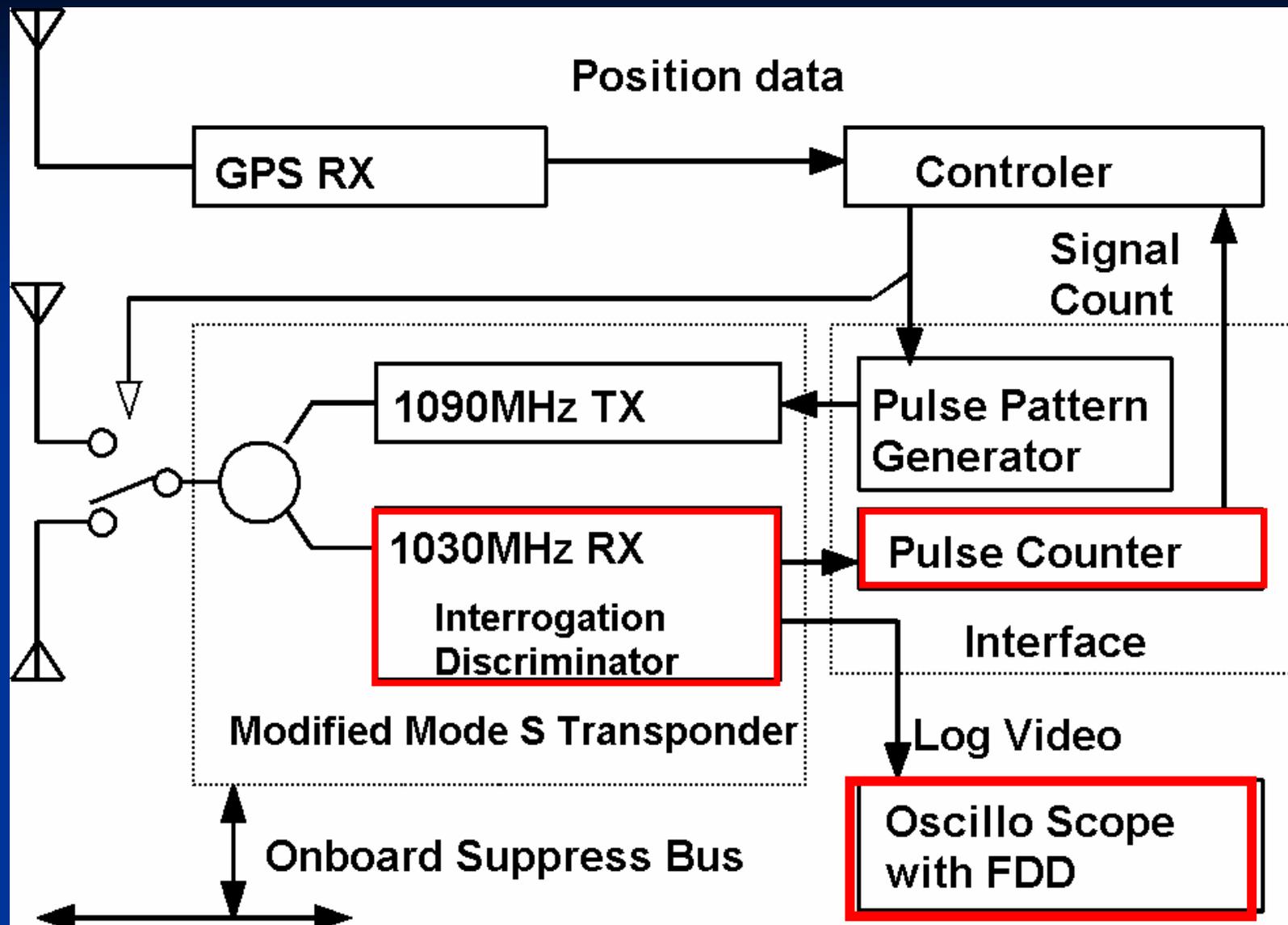
信号環境予測の誤差要因

- 運用シナリオの誤差
 - 移動式送信機
 - 機器導入普及の進捗
 - 想定外の運用方式
- 想定外の機器動作
 - 故障
 - 電波伝搬等による信号変形(特にマルチパス)
 - 規格の解釈の幅や意図の誤解(試験の完全性)
- その他

信号環境の測定

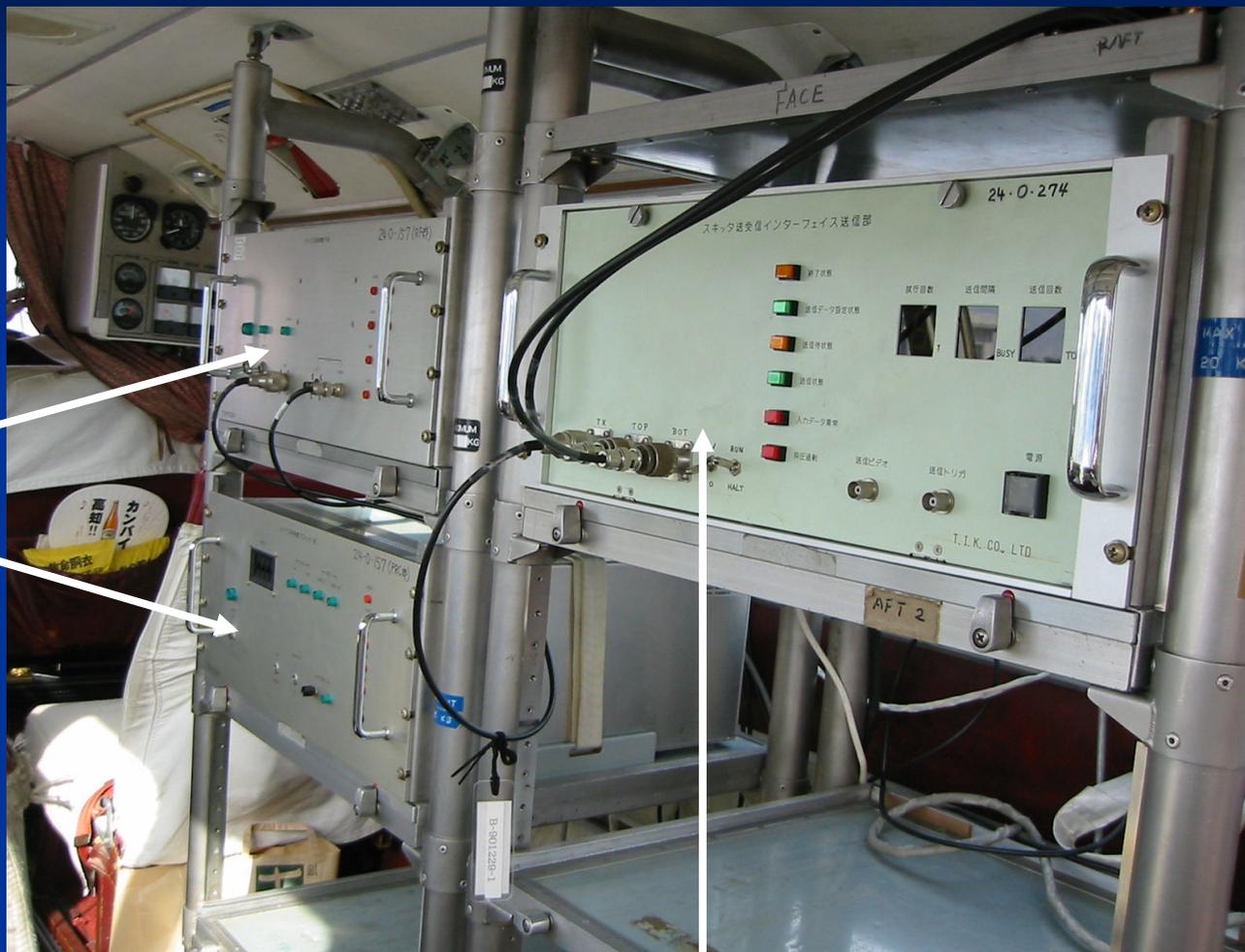
- 質問信号発生数測定のための飛行実験
- モードSトランスポンダを用いる信号弁別
 - 受信機MTL -74 dBm (AOC off)
 - 航空機胴体底面のブレードアンテナ使用
 - 各質問モード毎に信号レートを測定
 - トランスポンダ運用状態を表す補助データ

典型的なトランスポンダから観測される信号環境
信号環境推定を目的とした質問信号の分類



航空機運用のためには別のトランスポンダを使用

実験用航空機に搭載した機器

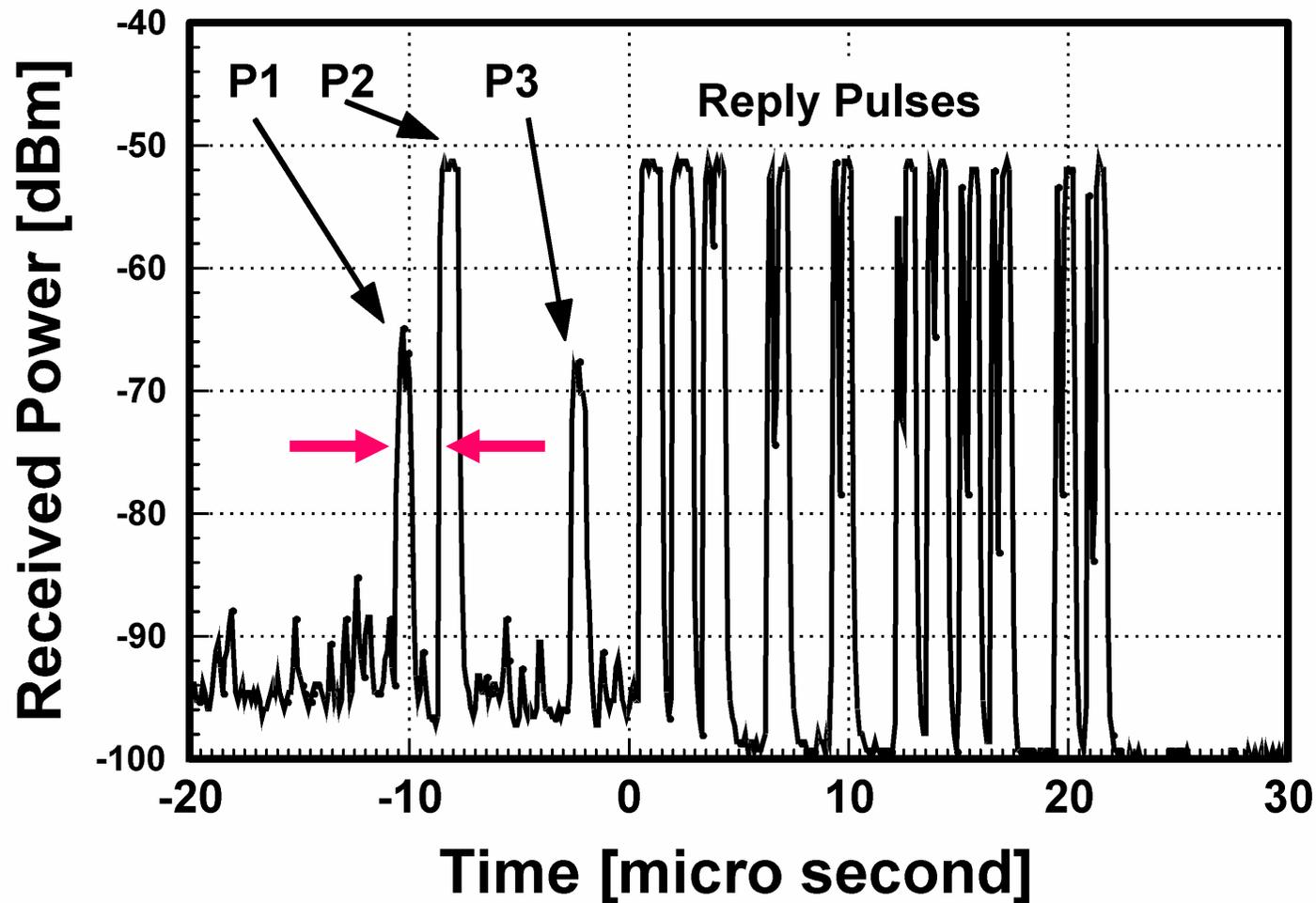


実験用モードS
トランスポンダ

制御装置



マルチパス反射波の誤解読

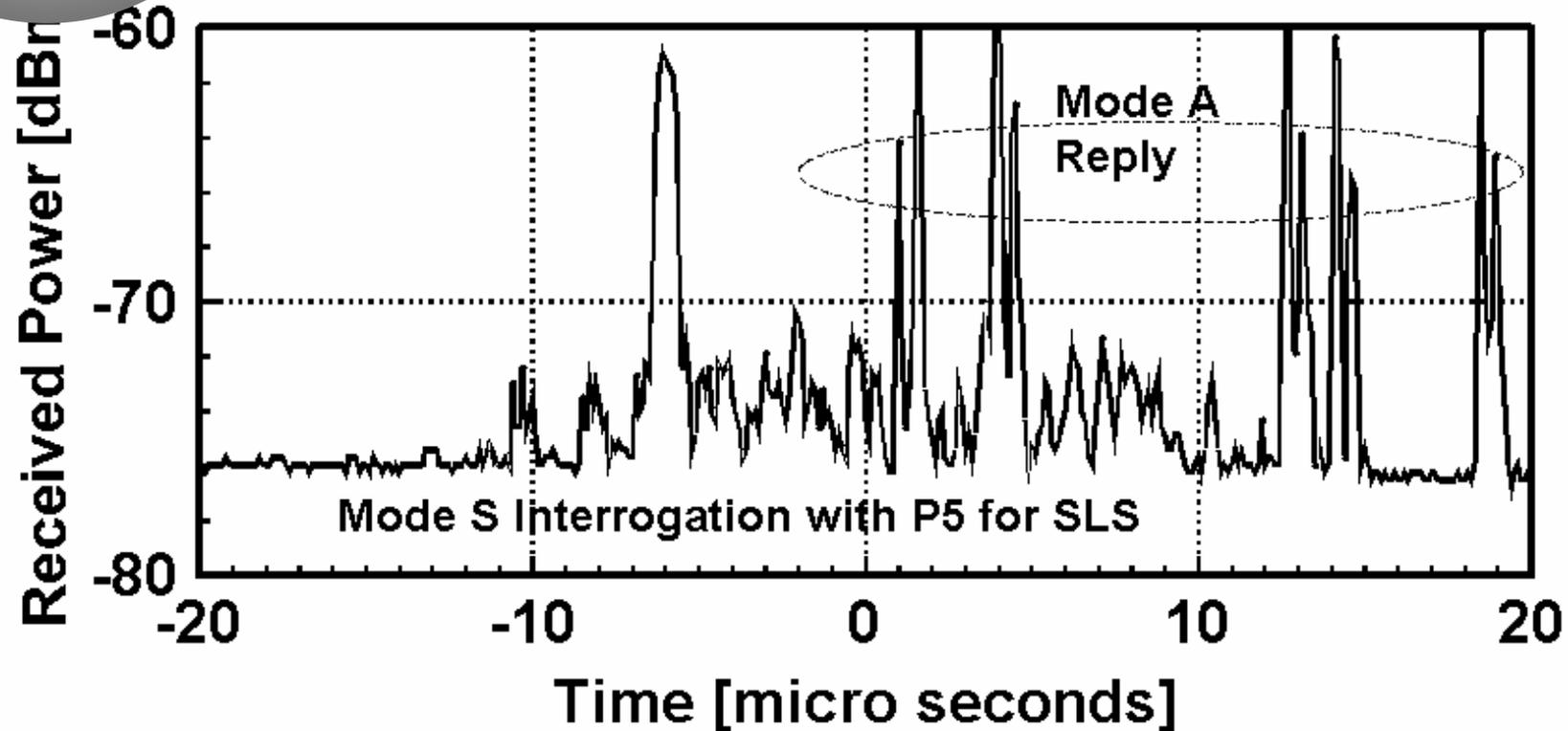


SSR近傍のATCトランスポンダ1030MHz受信出力例

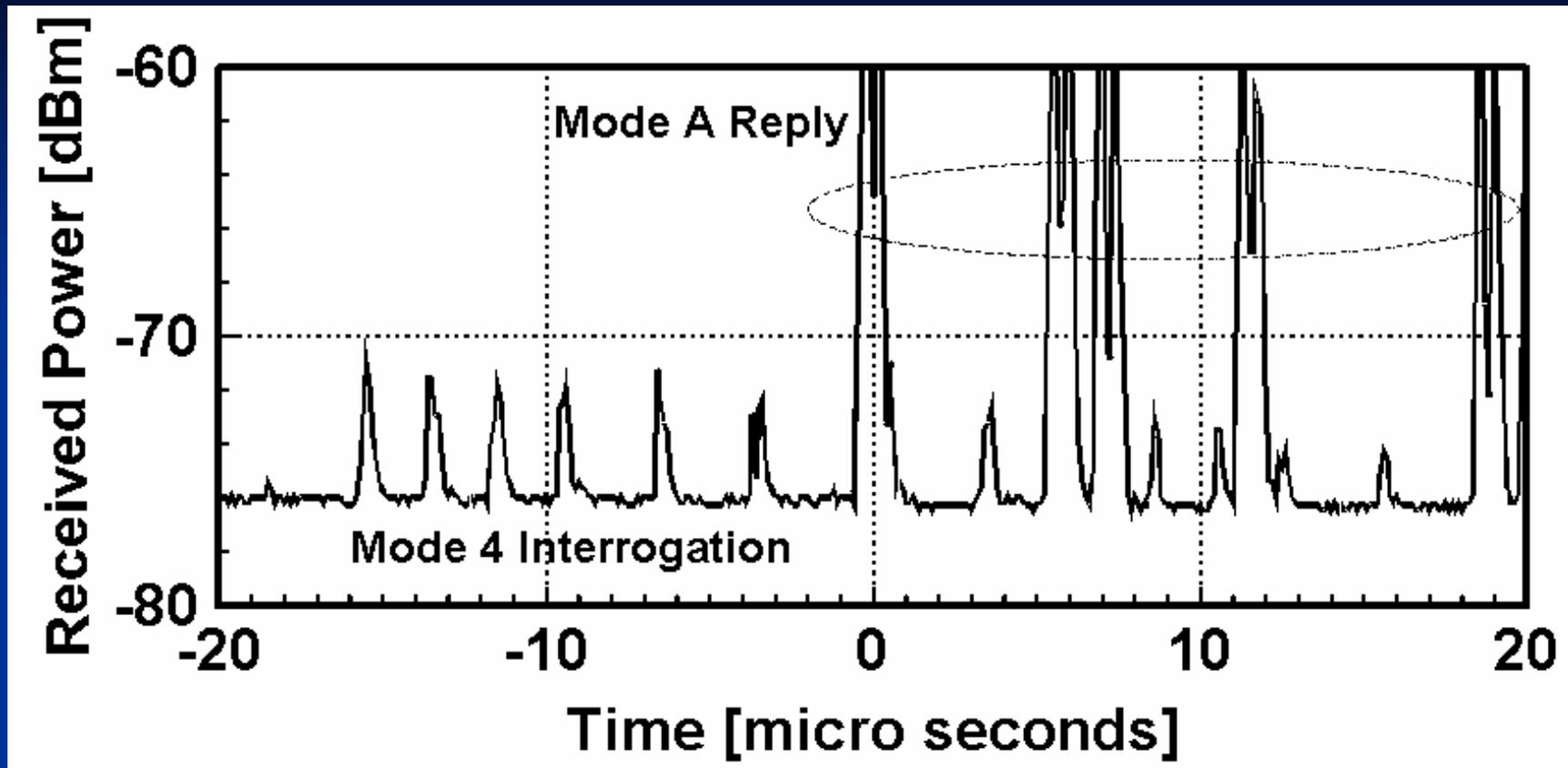


低電力質問信号の誤解読の調査

- 2006年5月 ENRIよりICAOに現象報告
- 2006年秋 FAAによるベンチ試験
- 2007年2月 RTCA/EUROCAEによる分析
- 2007年 FAAによる飛行実験
- 2008年 RTCA/EUROCAEの規格討議
- 2008年12月 ICAOによる規格討議



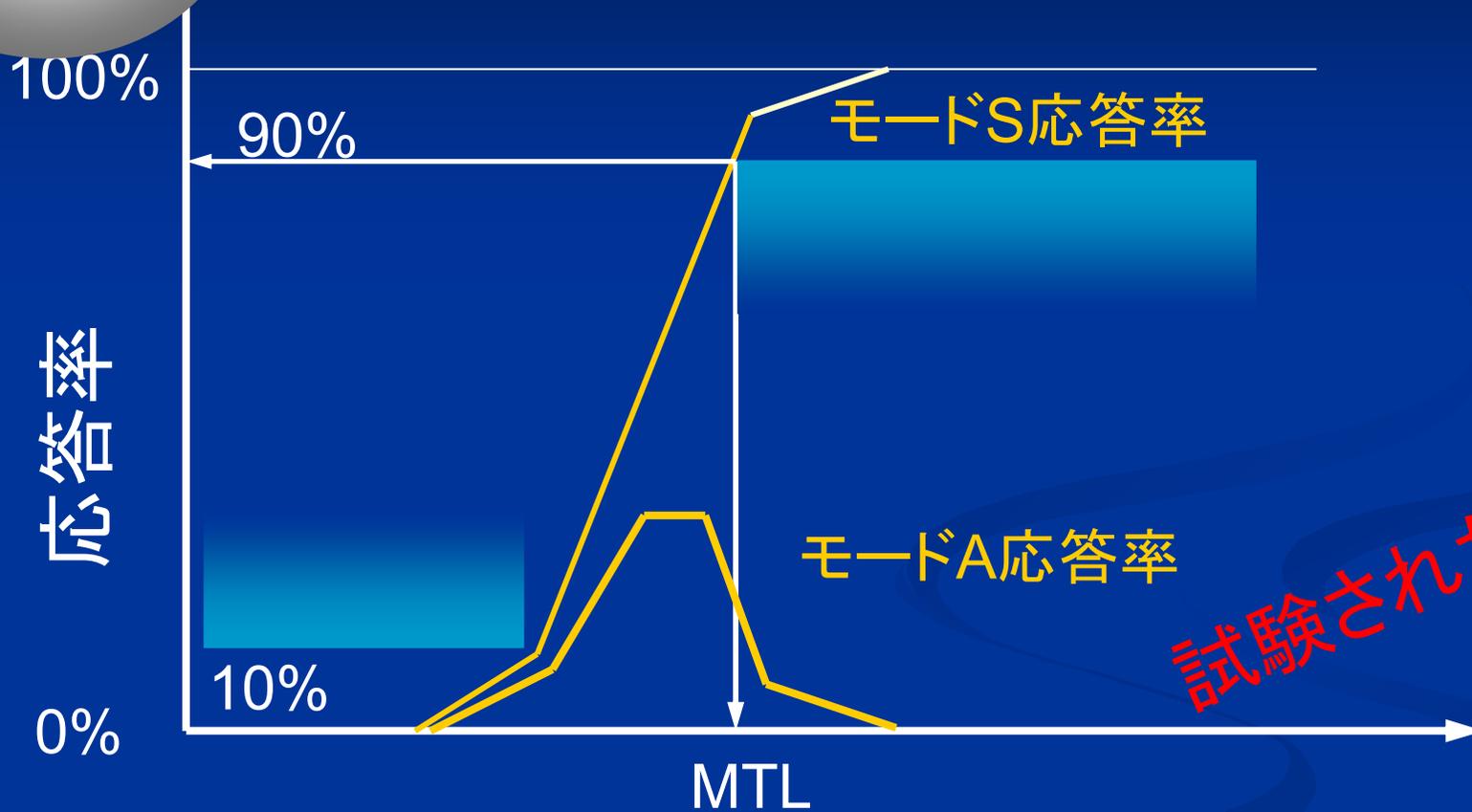
- 航空機運用のためのモードSトランスポンダがモードA応答
- オシロスコープは実験用モードSトランスポンダのモードA弁別カウントパルスを用いてトリガ



- 航空機運用のためのモードSトランスポンダがモードA応答
- オシロスコープは実験用モードSトランスポンダのモードA弁別カウントパルスを用いてトリガ



低電力質問信号の誤解読

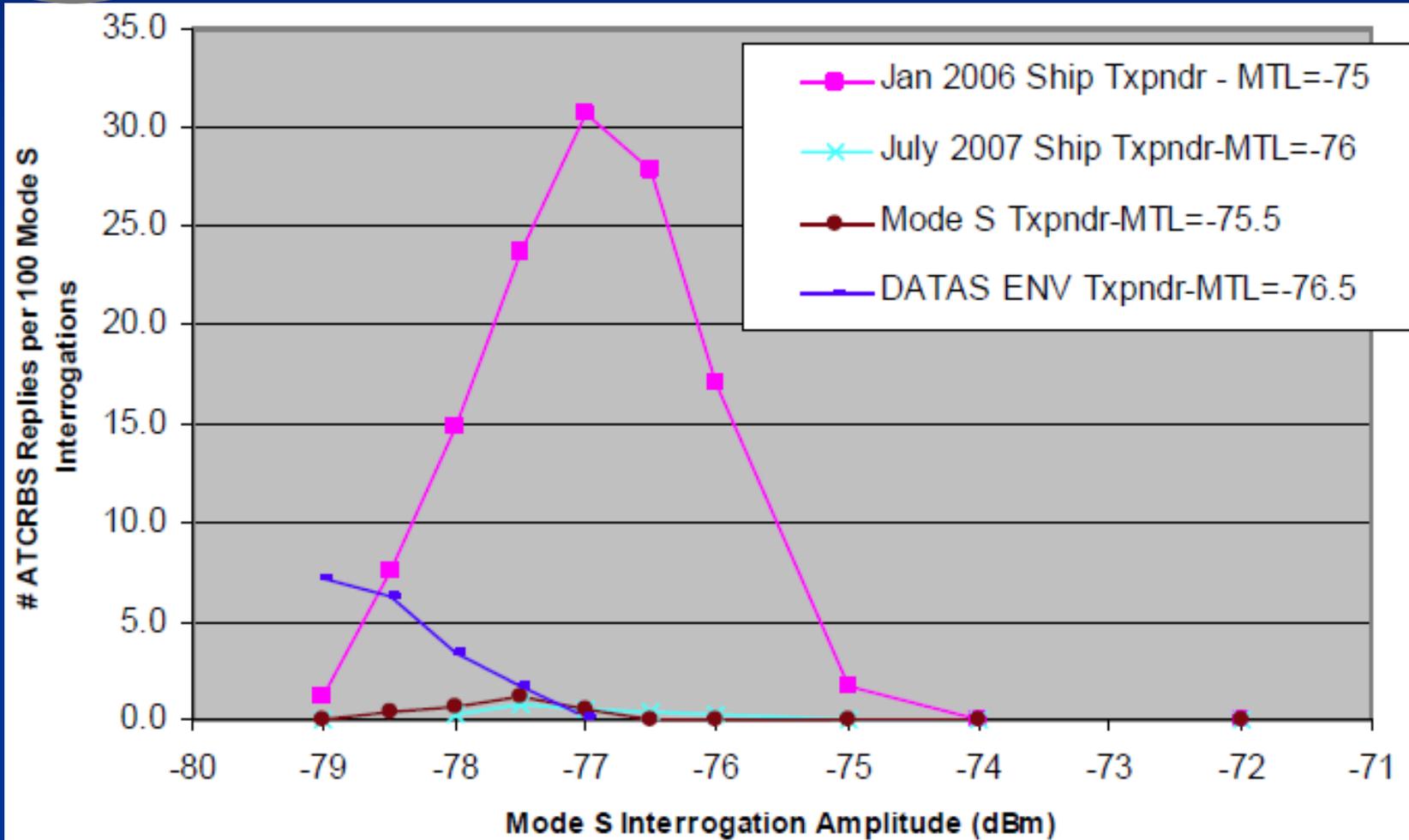


モードS質問信号受信電力



FAAによるベンチ試験結果

RTCA SC209 2008年2月会合資料より





低電力質問信号の誤解読

- P1-P2抑圧パルスペアの解読漏れ
 - 別モードの信号として解読
- MTLの数dB下で誤応答率約30%の例
 - 誤応答率は機種や製造時期にも依存
 - 新しい機器は誤解読が軽微
- 規格上はMTL以下の誤解読に解釈の幅
 - RTCAは試験手順の完全性を調査中
 - RTCAとICAOは規格改定を検討中