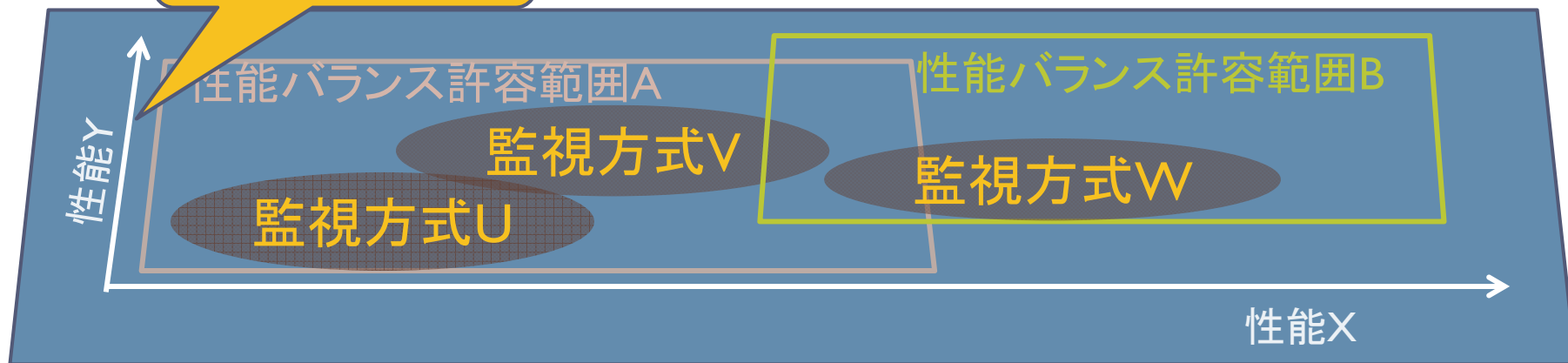


測定可能？



# 監視システムの技術性能要件の研究

性能要件をどう定めどう測定するか

監視通信領域 小瀬木滋 古賀禎 大津山卓哉 本田純一 住谷泰人

# 性能準拠による監視システムの選択導入

同じ管制間隔や  
運用方式を実現

航空路

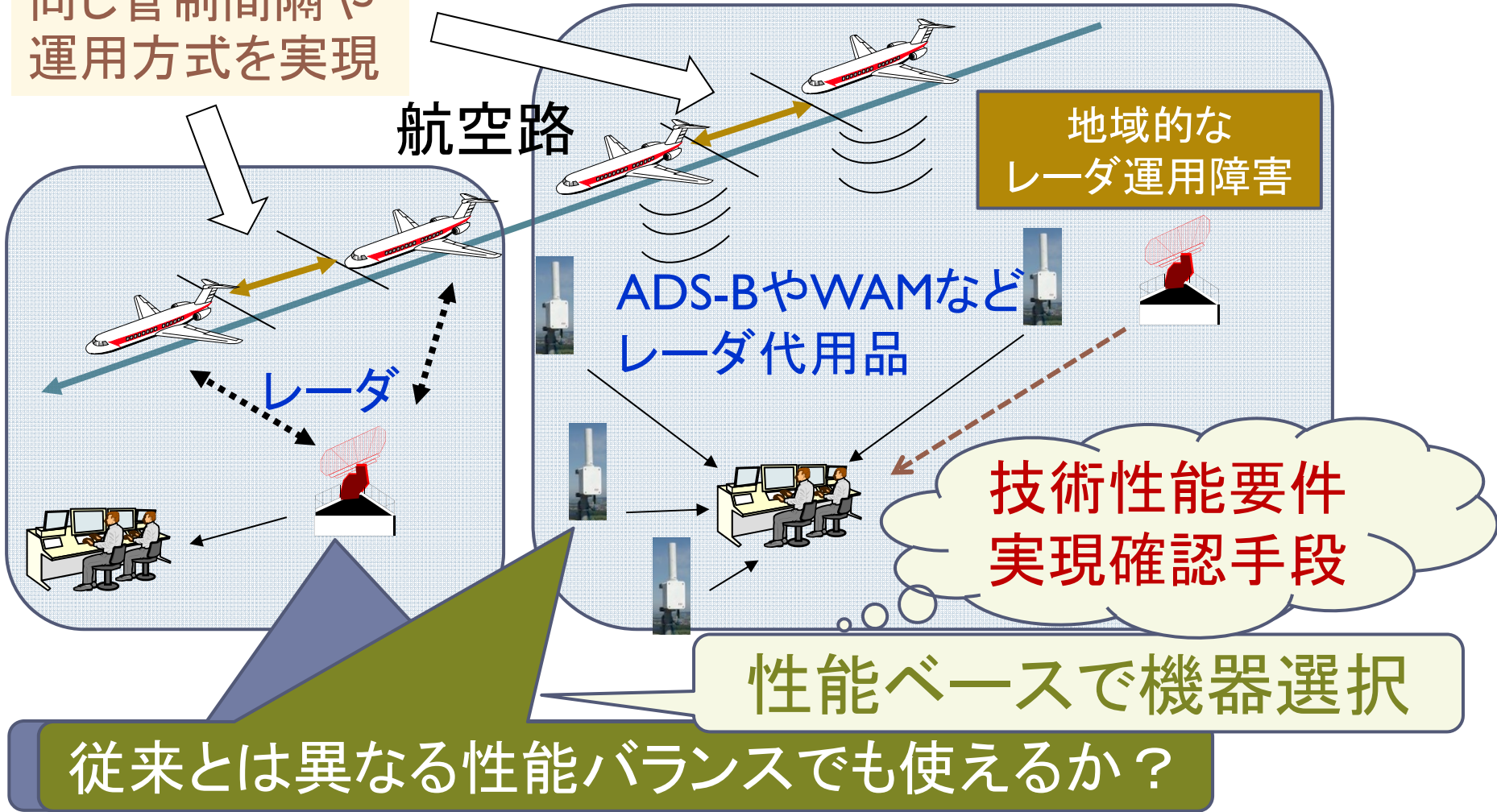
地域的な  
レーダ運用障害

ADS-BやWAMなど  
レーダ代用品

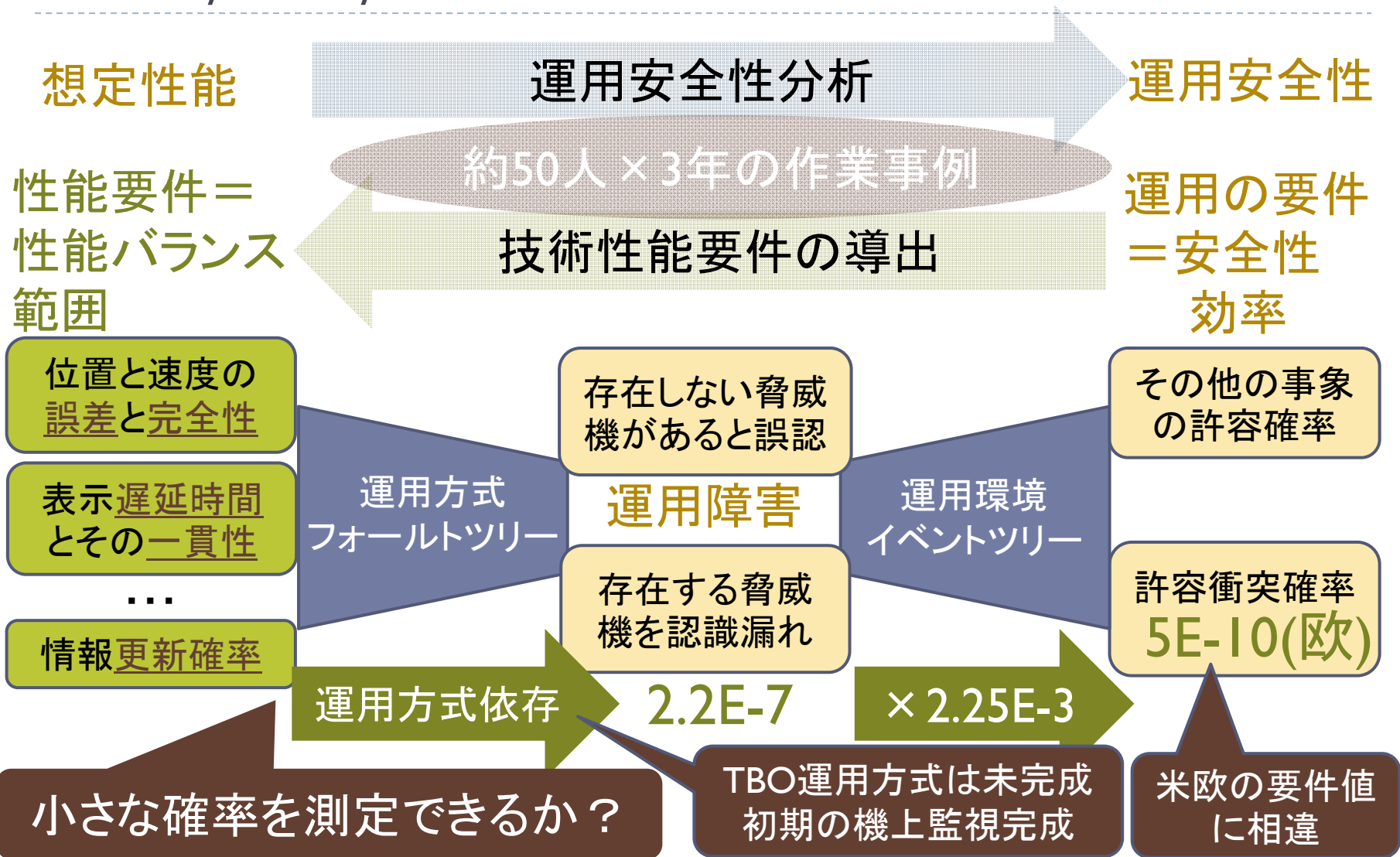
技術性能要件  
実現確認手段

性能ベースで機器選択

従来とは異なる性能バランスでも使えるか？



# 監視システムの技術性能要件の開発 ICAO/ASP/RSPTFやRFGに参加



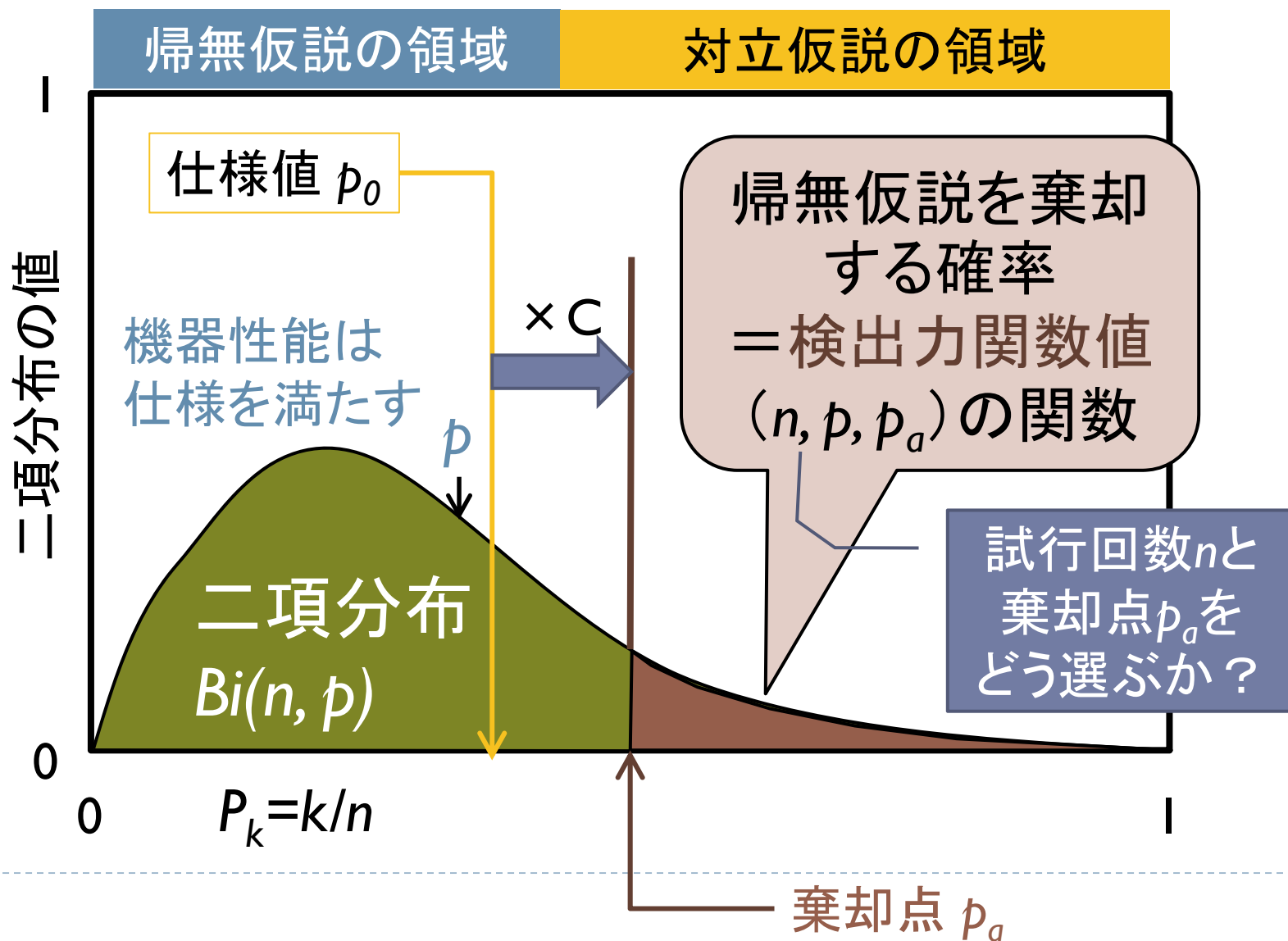
# 監視システムの技術性能要件：項目と属性

ISO13236の手法＝EUROCONTROL-spec-0147

項目	Av 有用性	Cont 連続性	Integrity 完全性			Ti 時間	Coh 一貫性
			Core	Corr	Sp		
位置	○	○	○	○	○	1	○
高度	○	○	2	○	○	○	3
SPI		4			○	○	×
識別	○	×	○	×	○	○	×
昇降	5	6	7		○	1	×
速度	5	6	7		○	1	×
管理	8	○	×	×	×	×	×

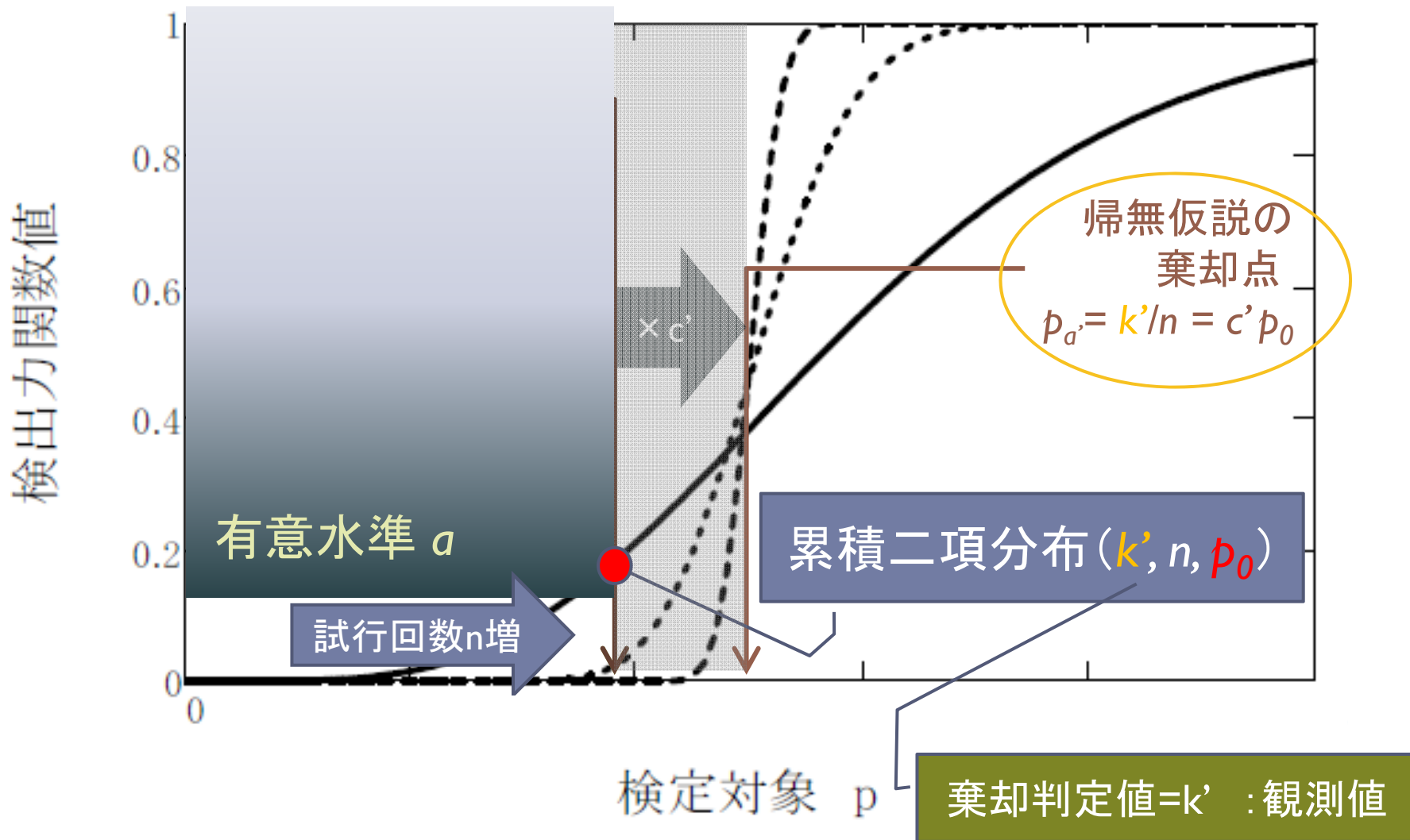
- ：適用、×：適用除外項目、1：誤差とともに考察、2：突発誤差も配慮  
3：一部は時間要因とともに考察、4：運用手順を配慮、5：使用空域の条件、  
6：トラックを配慮、7：通常の管制では不要だが衝突検出などでは配慮、  
8：使用地域の条件を配慮

# 監視性能の測定：確率値の検定の誤りを管理



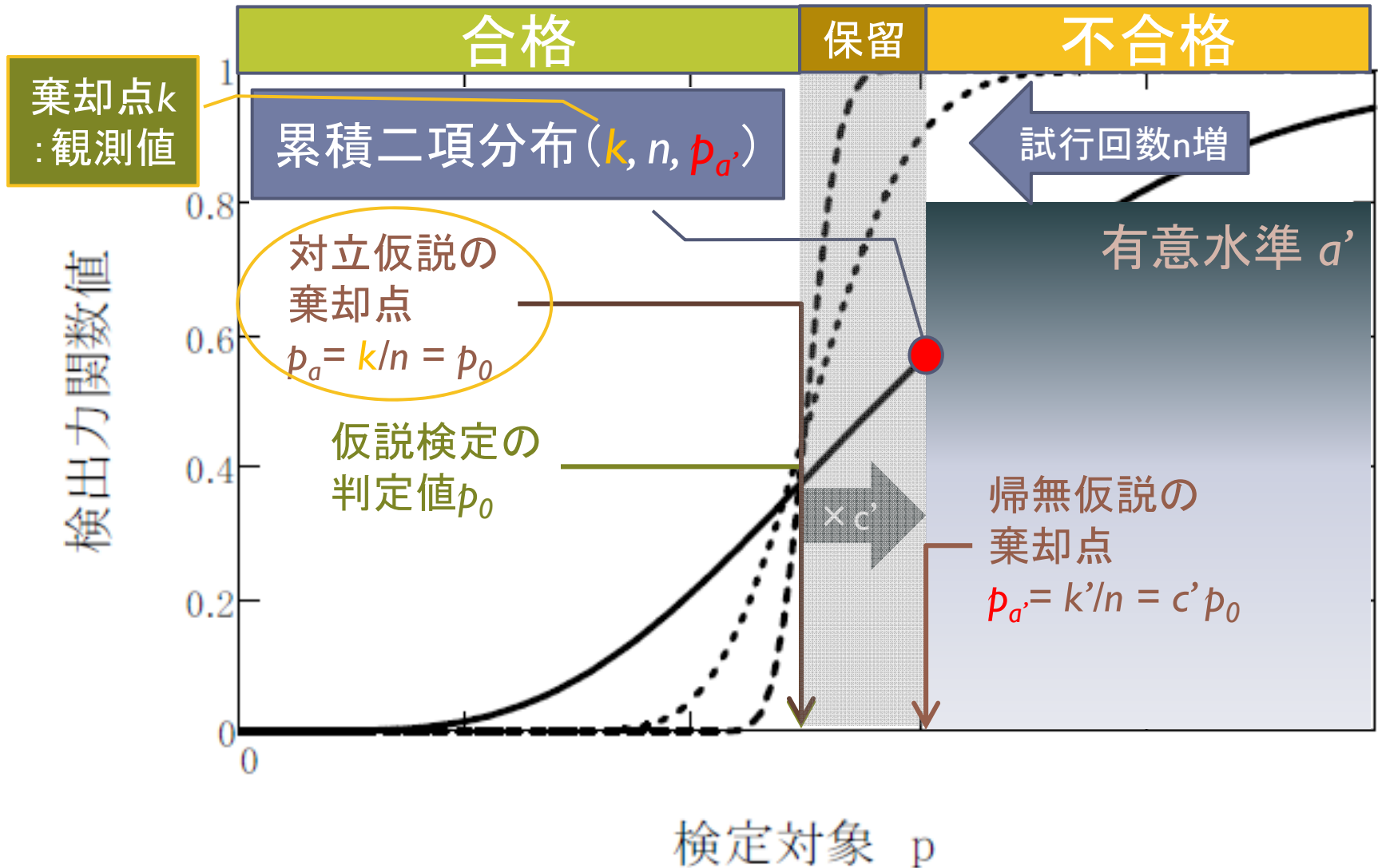
# 監視性能の測定：検定の第一種誤り抑制 仕様を満たす機器を不合格としないために

仕様を満たさないと判定する確率



▶ 棄却点  $p_a$  から対応する観測値  $k'$  を定め、試行回数  $n$  を増加し、 $p_0$  で第一種の誤りを制約

# 監視性能の測定：検定の第二種誤りの抑制 仕様を満たさない機器を合格としないために



- ▶ 判定値  $p_0$  に対応する観測値  $k$  を定め、試行回数  $n$  を増加し、 $p_{a'}$  で第二種の誤りを制約

# 監視性能の測定：良否判定に必要な測定回数 $n$

仕様値 $p_0$	通常の検定 $C=2, a=0.05, a'=0.2$	比較的厳しい検定 $C=1.1, a=0.01, a'=0.1$
0.05	55	5228
0.01	275	54955
0.001	2755	545910
0.000001	2.756 E6	5.550 E8

完全性要件（5NM管制の例）  
 相関処理後の誤検出の発生率上限  
 実物標から7NM以内  
 1時間あたり2回以下  
 =4E-7 測定誤差0.2NM想定

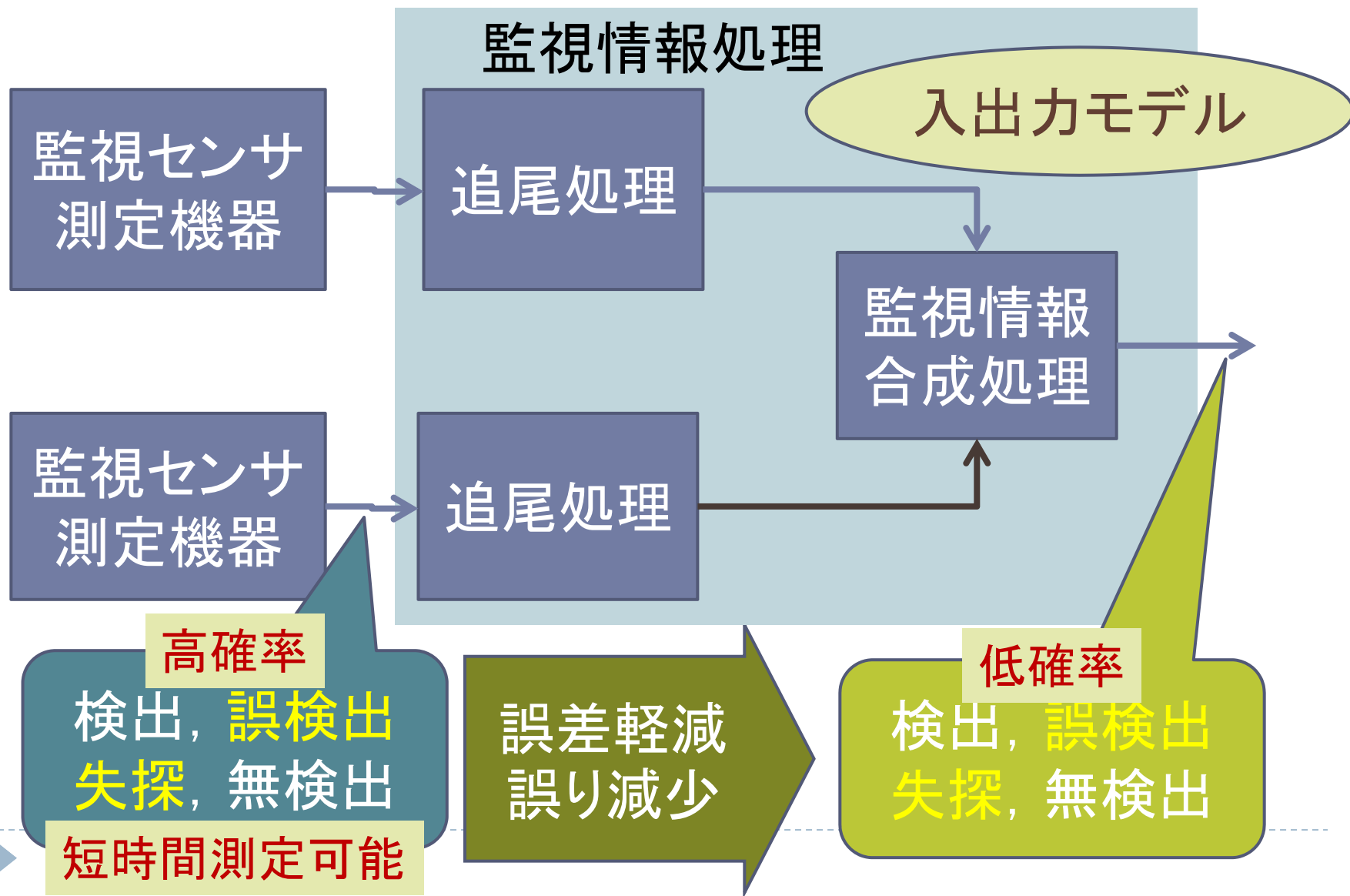
毎秒100回測定しても  
4.2年必要

毎秒100回測定しても  
10年必要

誤記訂正

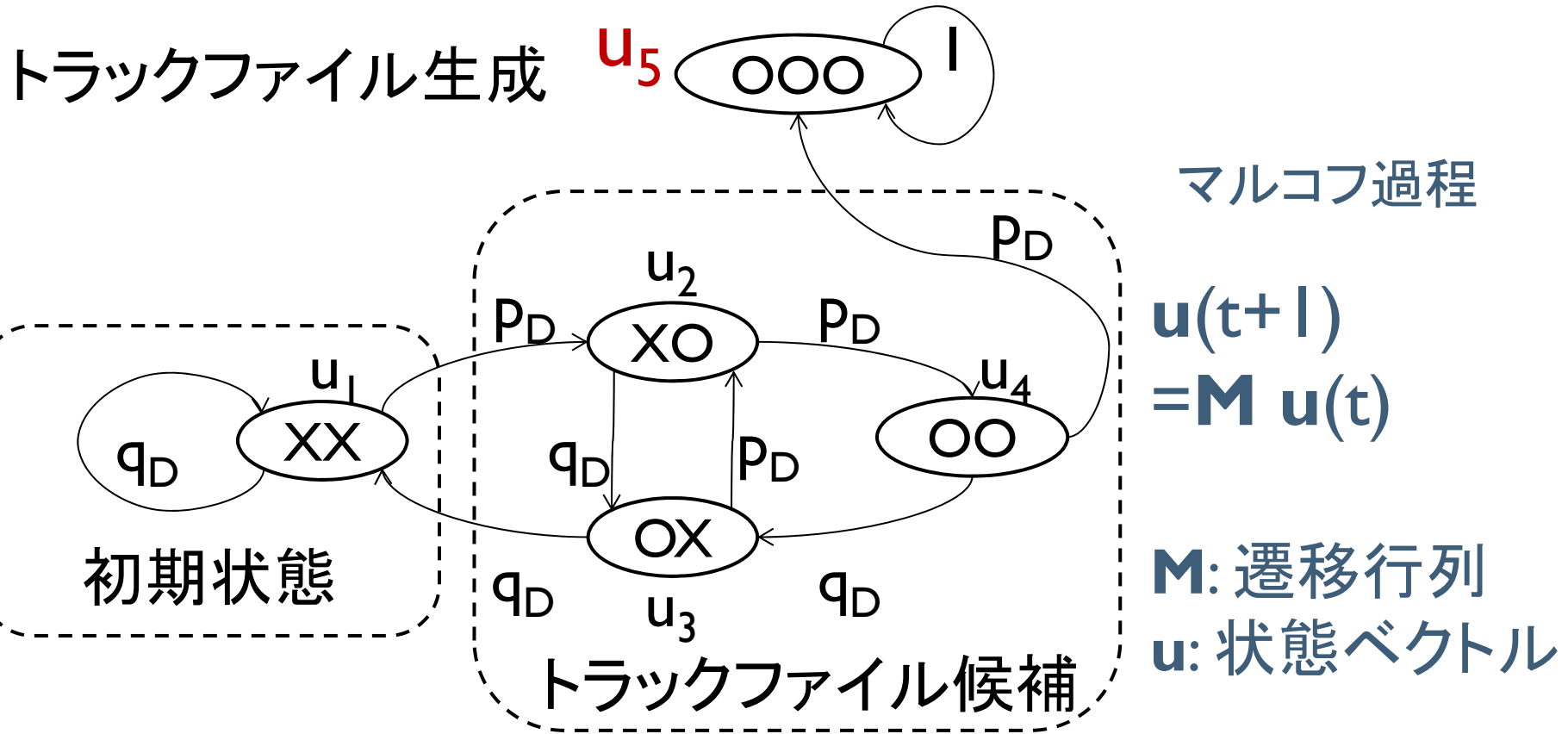


# 監視性能の測定：参照点の変更と換算で高速化



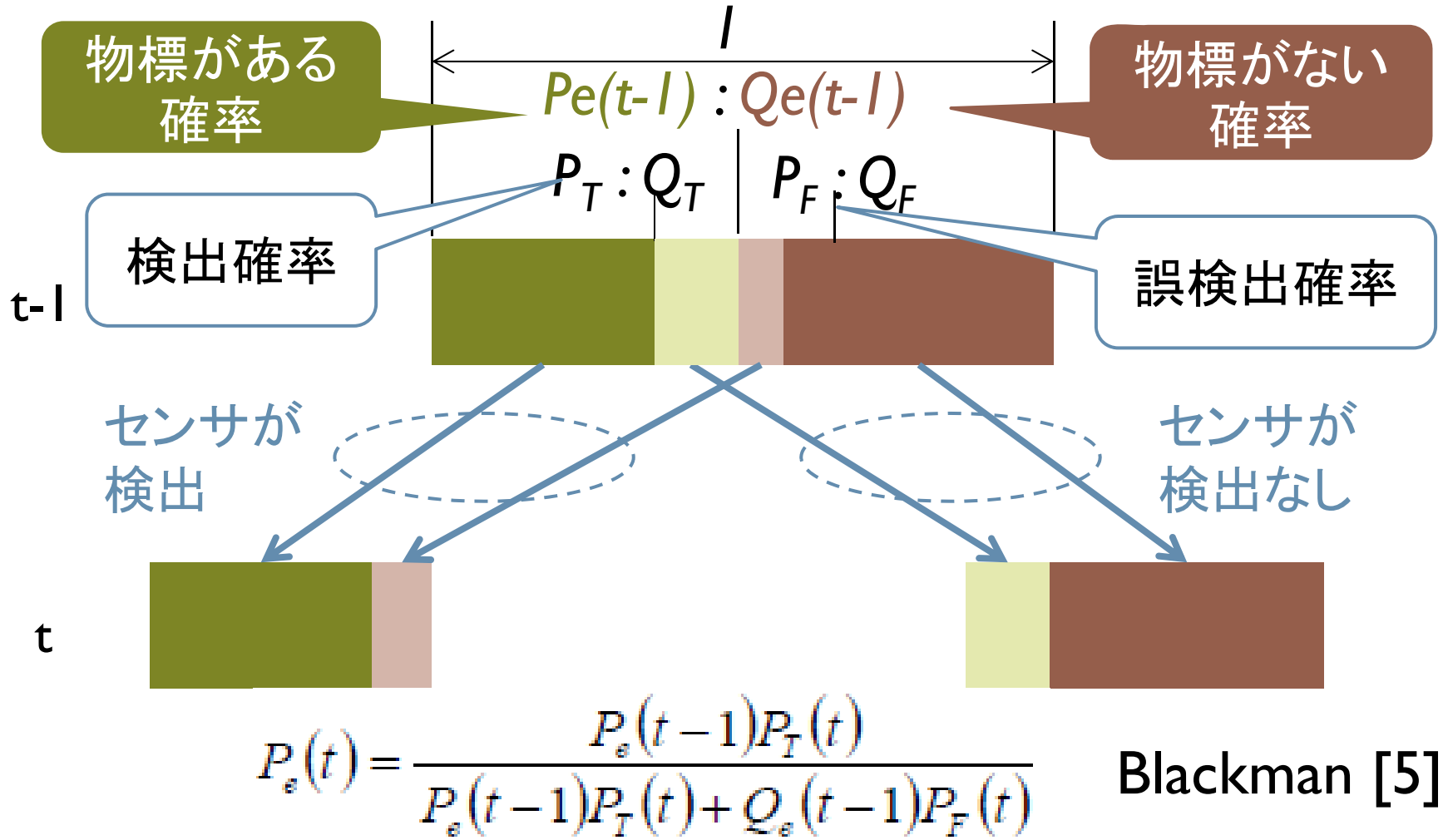
# 監視性能の測定：換算の手法－有用性

3回連続した信号検出によりトラックファイルを生成する例



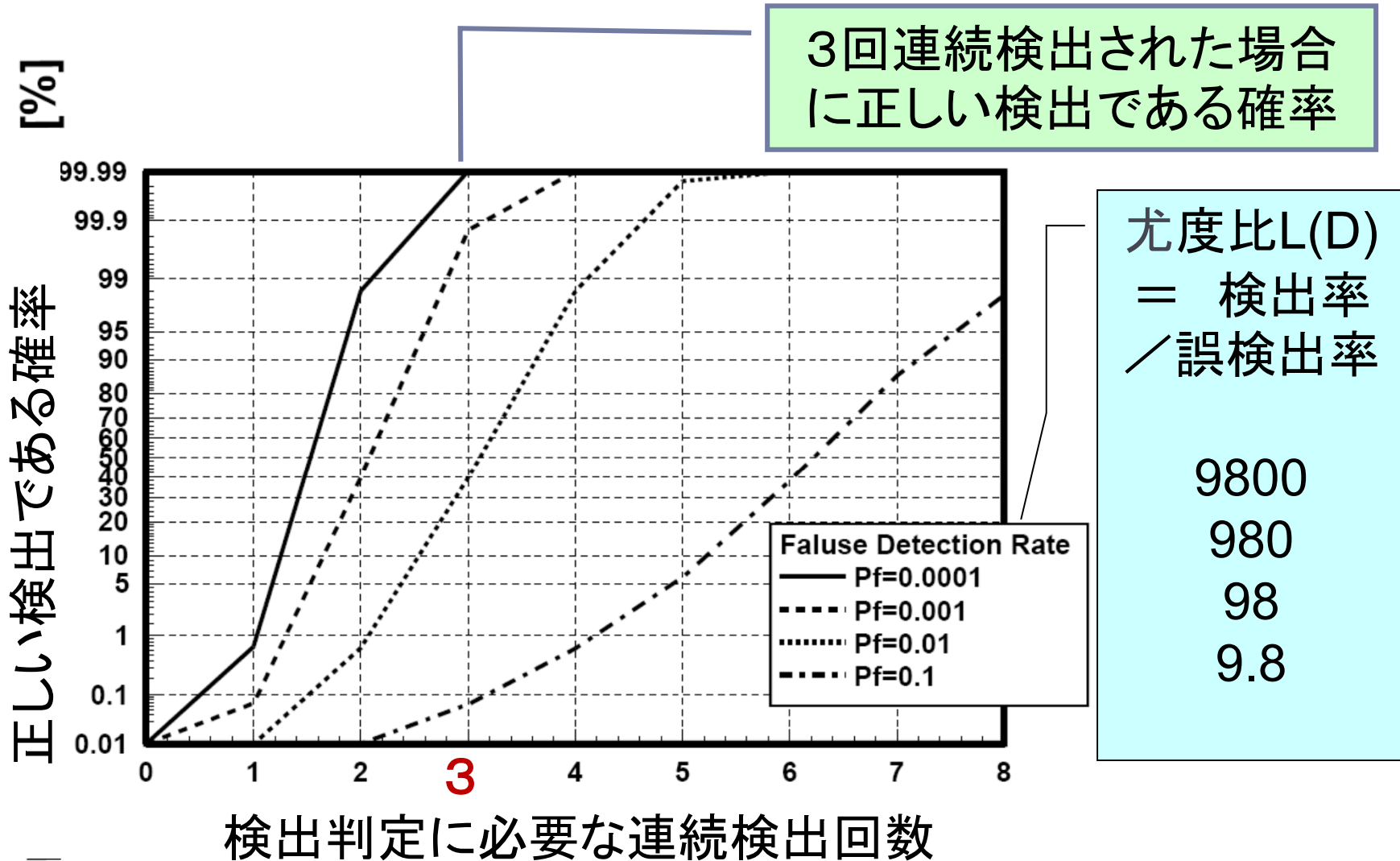
検出率 $p_D$ と状態遷移モデルを用いて有用性 $u_5$ を算出可能

# 監視性能の測定：換算の手法－完全性



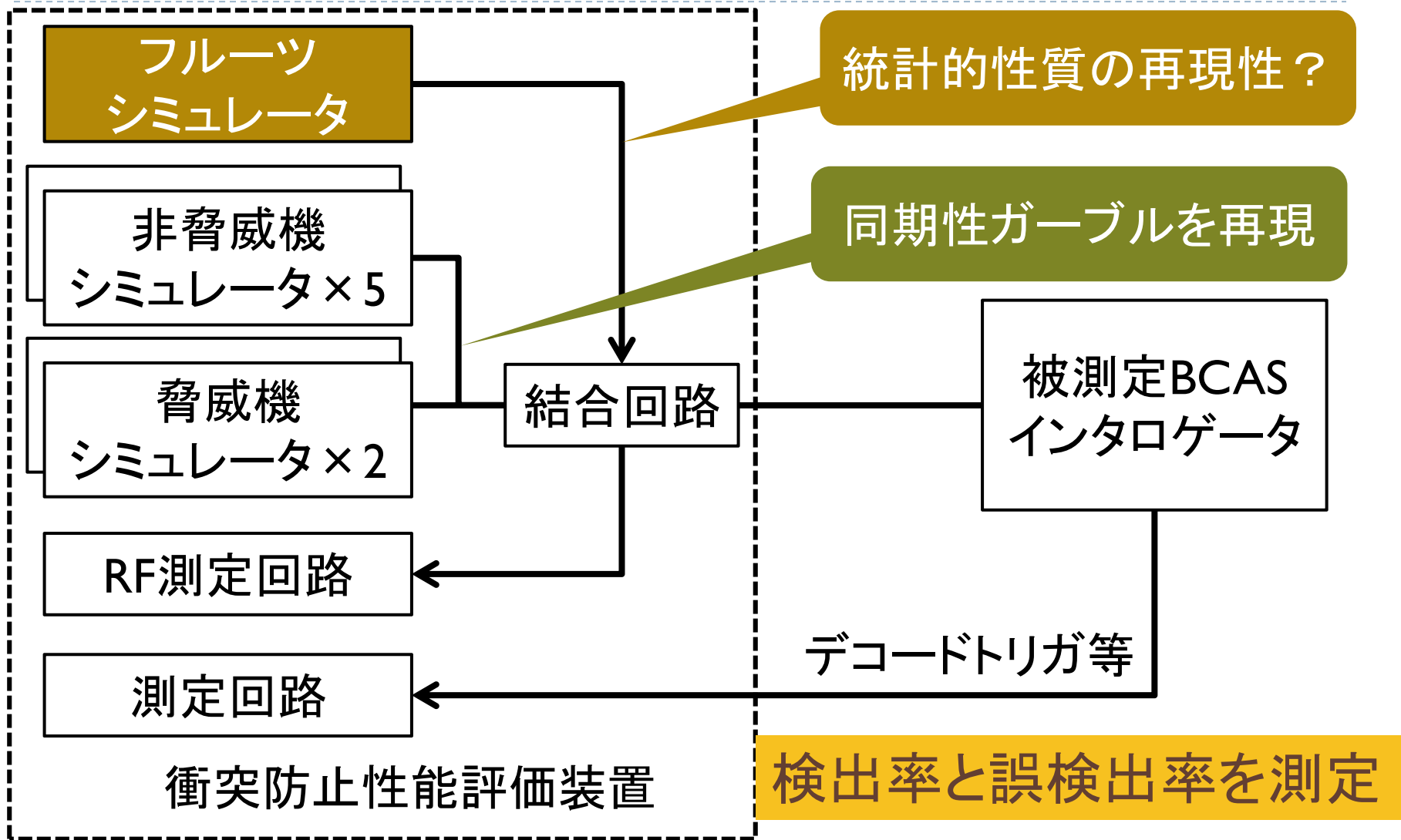
▶ 検出率 $P_D$ と誤検出率 $P_F$ を用いて完全性を算出可能

# 監視性能の測定：換算の例－完全性



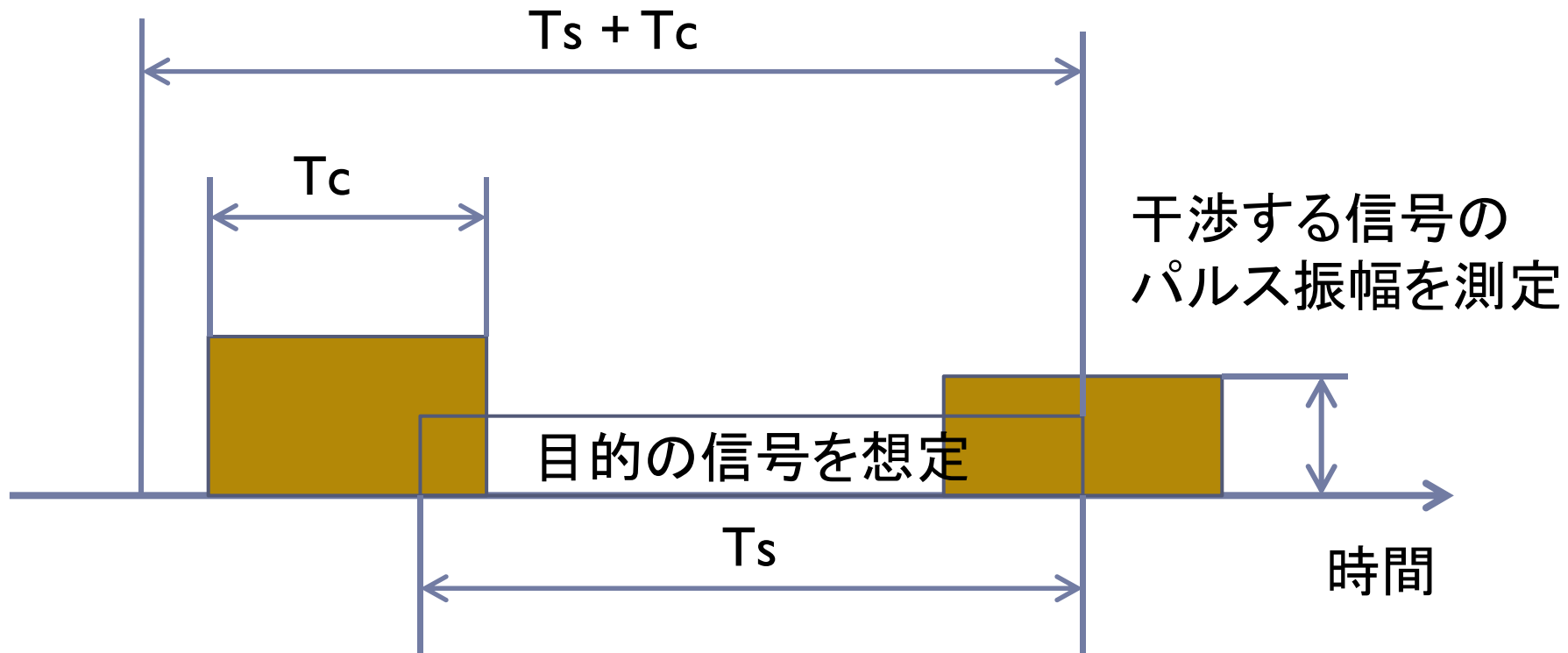
# 監視性能の測定システム：適切な試験信号発生

## BCAS性能評価装置の例（S54頃の構成）

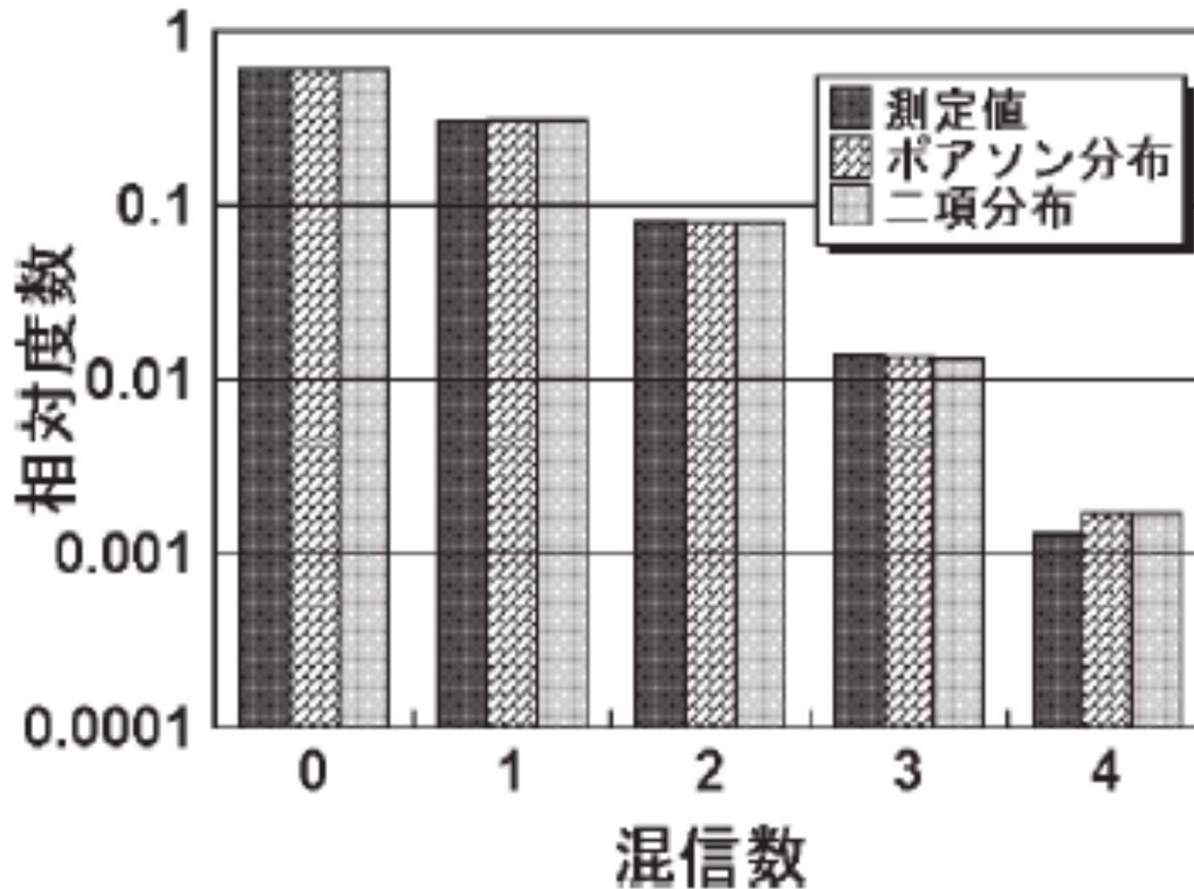


# 非同期干渉により重畳する信号の測定

この時間範囲に受信される干渉を計数

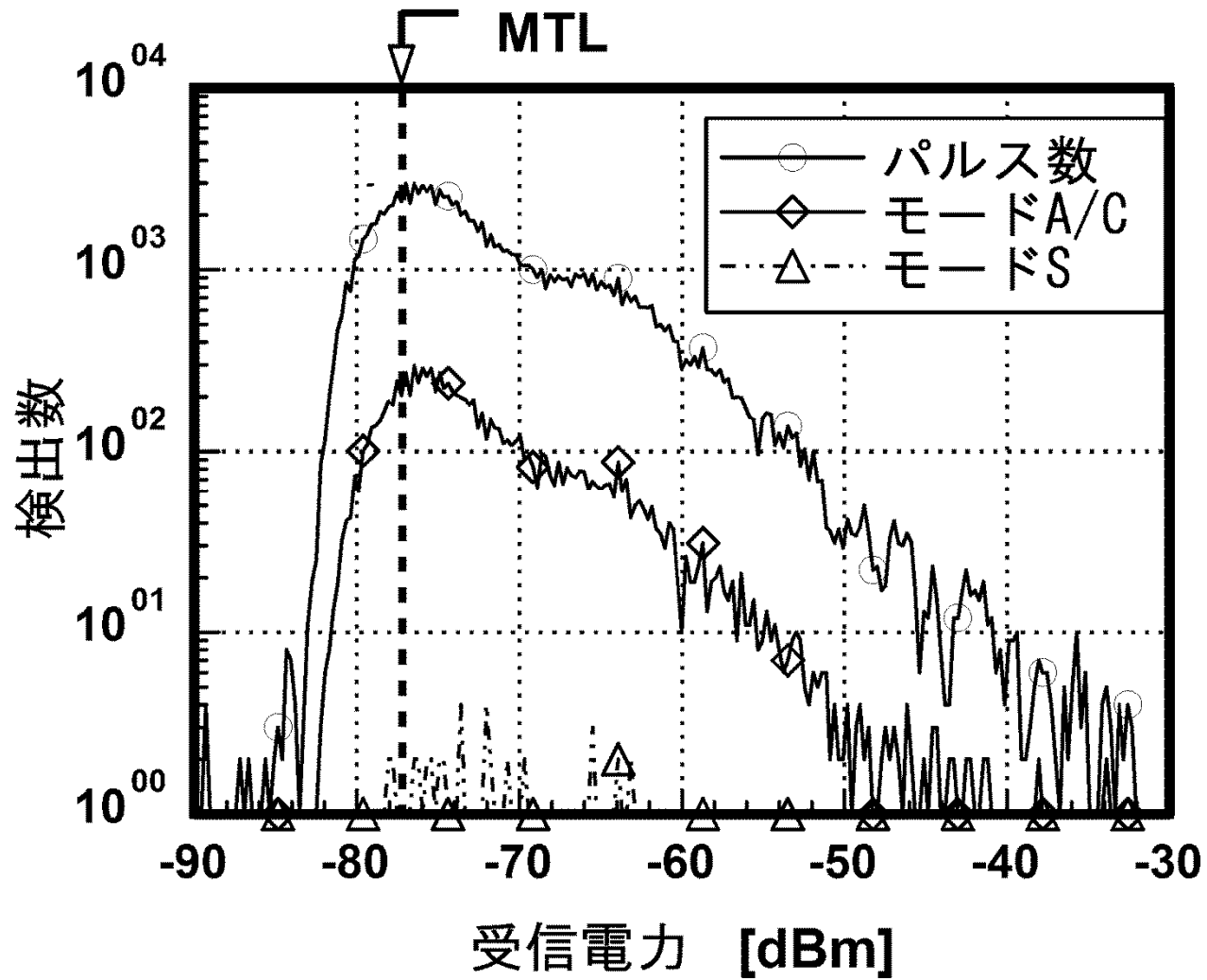


# 干渉する信号数の統計分布



モードS拡張スキッタ(120 $\mu$ s)に混信するモードA/C応答信号数

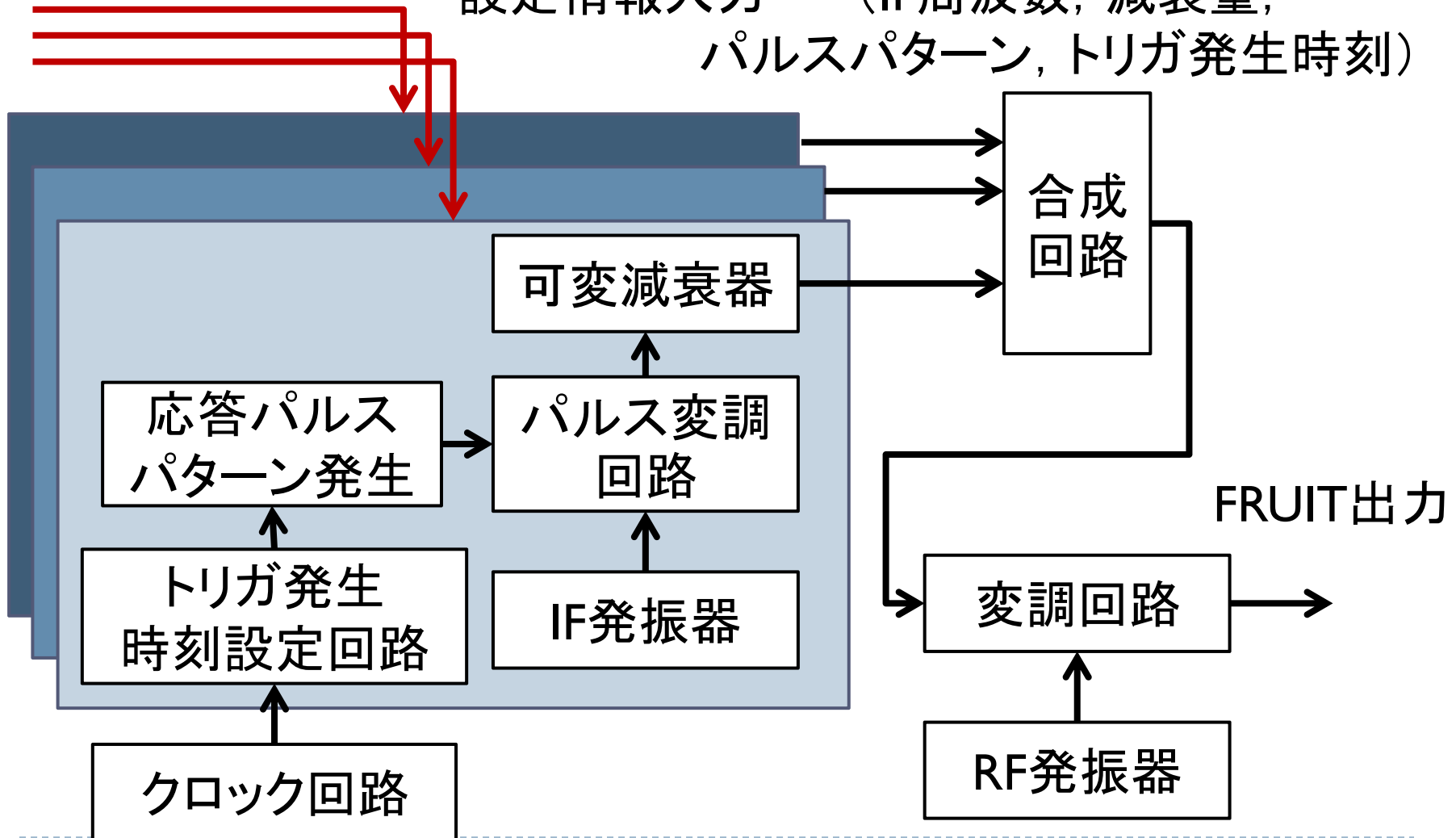
# 干渉する信号の電力分布



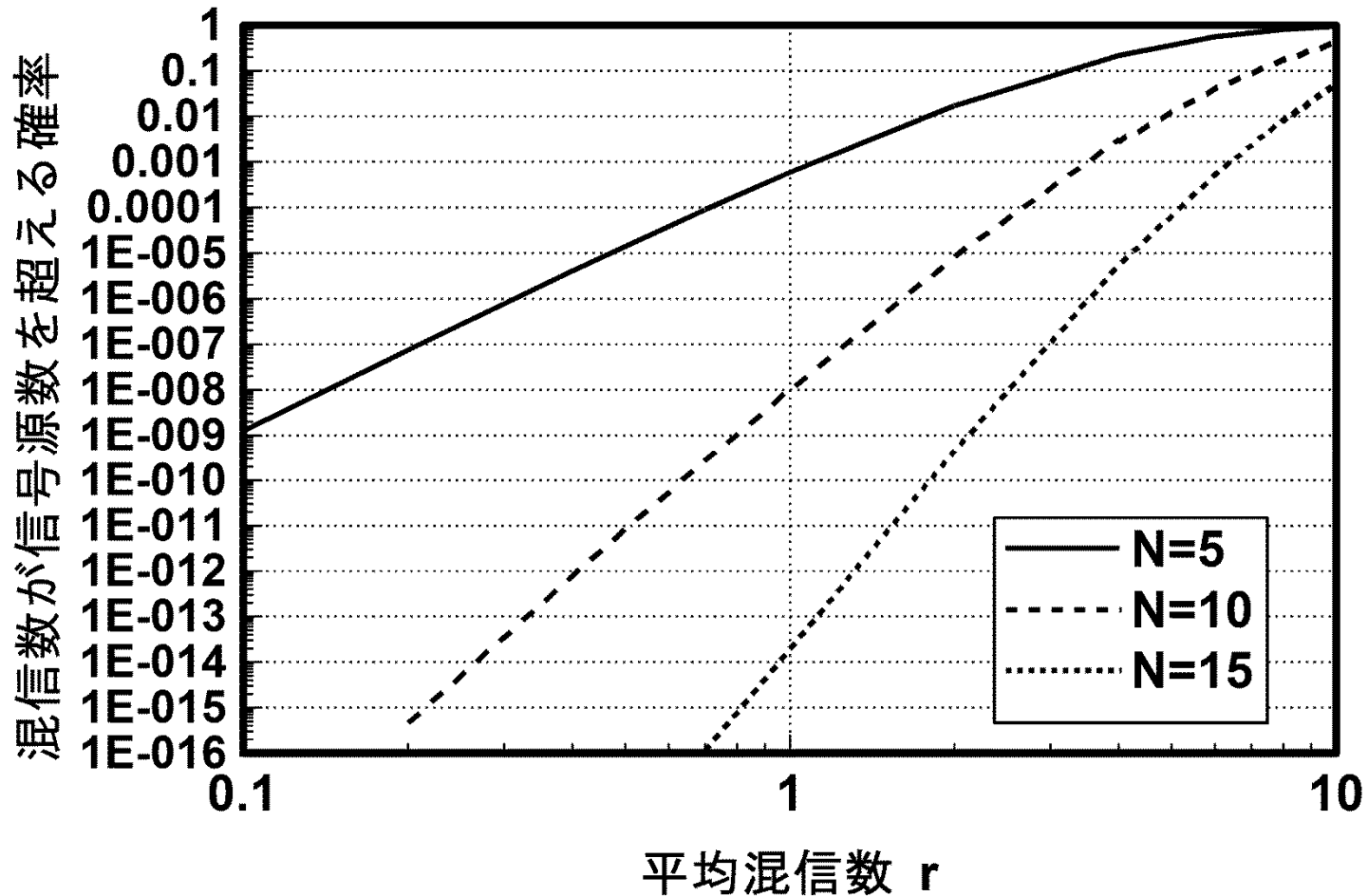


# 提案する非同期混信妨害発生回路の構成

設定情報入力 = (IF周波数, 減衰量,  
パルスパターン, トリガ発生時刻)



# 提案方式が必要とする信号源の数



必要な信号源の数 = 測定中に発生する最大の重畳数

# 信号源が不足しない確率

信号源数 N	混信数がNを超える確率	信号源が不足しない確率
10	1.005E-8	0.0039
11	8.316E-10	0.633
12	6.360E-11	0.966
13	4.520E-12	0.998
14	3.000E-13	0.9998

ただし、繰り返し測定回数 $5.5E8$  平均混信数  $r=1$  を想定

# 監視システムの技術性能要件の研究：まとめ

- ▶ **監視情報提供の技術性能要件** = RFGの一員
  - ▶ ISO13236の手法で性能の項目と属性を整理
  - ▶ 運用要件と技術性能要件をボウタイ手法で関連づけ
- ▶ **監視性能測定の課題を解決** = 統計数学活用
  - ▶ 必要な測定回数<sup>の算出</sup> = 統計的検定の誤りを管理
  - ▶ 測定時間の短縮 = センサ性能測定結果を換算
  - ▶ 経済的な試験信号発生 = 信号環境の統計的性質を再現
- ▶ **今後の課題**
  - ▶ 測定回数導出マニュアル、早見表
  - ▶ 実験用航空機を用いる信号環境測定の継続と成果活用



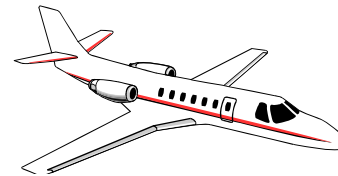
# 監視応用：Surveillance Applications



## 機上監視応用：ASA

Airborne Surveillance Application

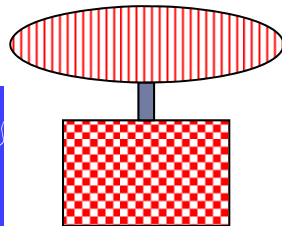
航空機間隔の相互確認 判断支援



ATCTランスポンダ

間隔設定  
Separation Provision  
のための現状確認  
監視

管制指示

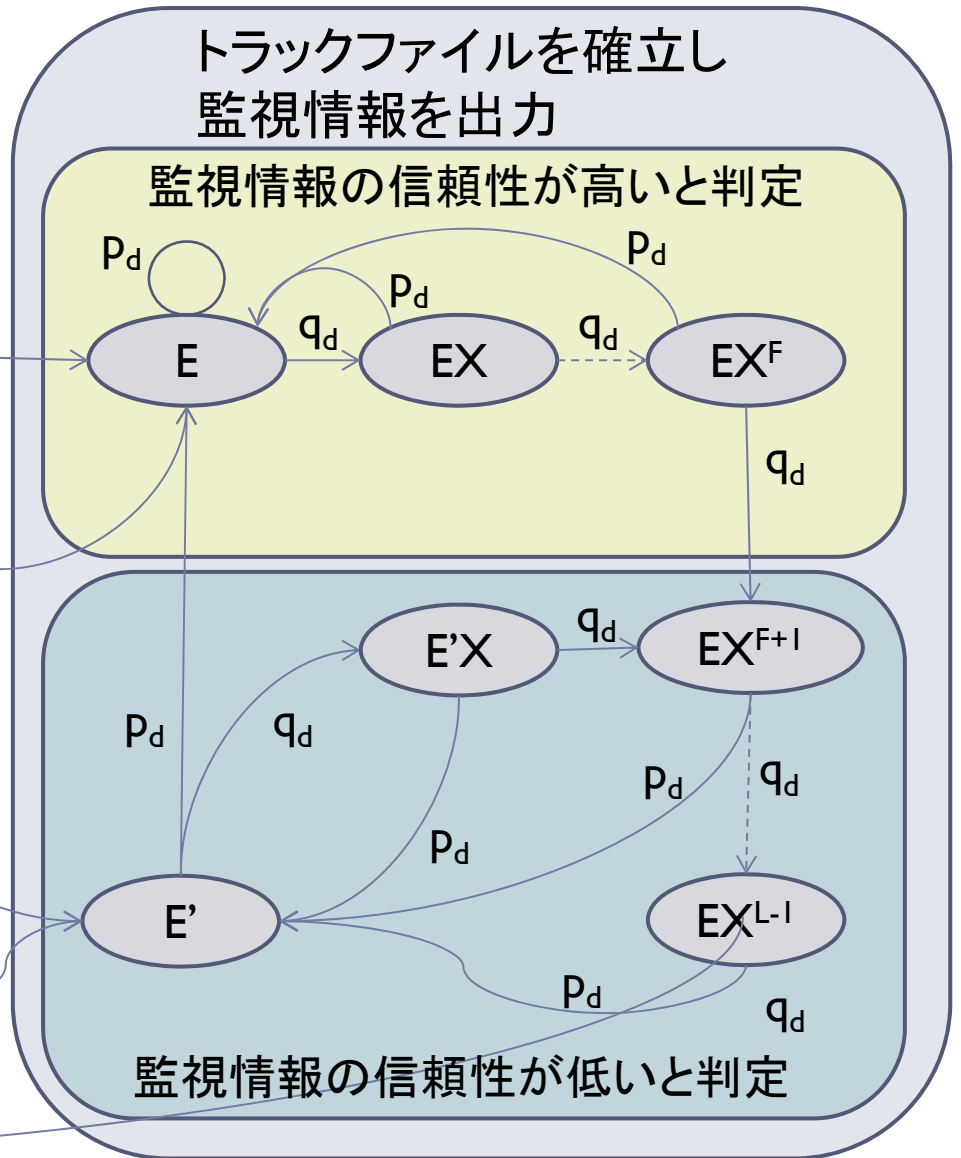
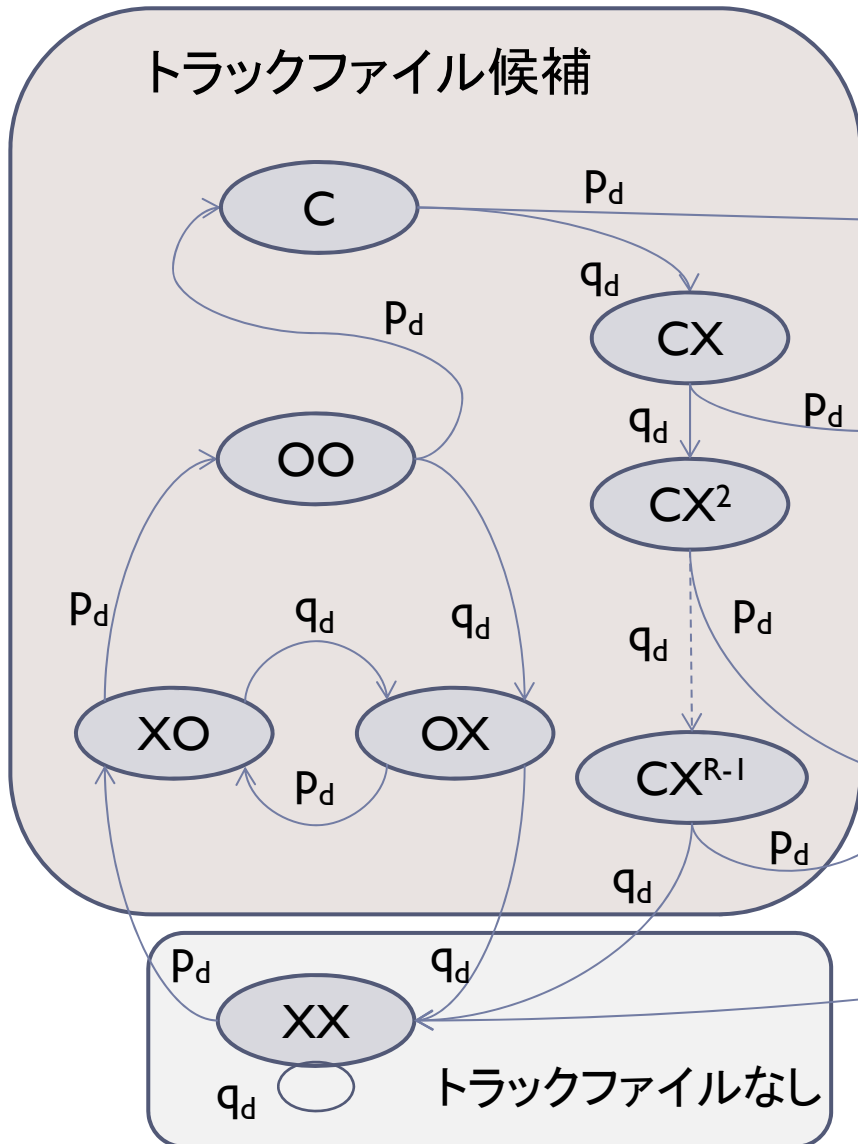


## 地上監視応用：GSA

Ground Surveillance Application

航空管制：航空機間隔の設定

# 状態遷移モデルの例



マルコフモデルによる有用性算出  
ベイズモデルによる完全性評価

# 運用環境を想定した監視システムの性能測定

---

## ▶ 1090MHz帯域の特徴

### ▶ 送信機はATC/IFFトランスポンダ

- ▶ 質問信号への応答                      質問信号は相互に同期していない
- ▶ スキッタの送信                              ランダムなタイミングで送信

### ▶ 同期性干渉

- ▶ 同期性ガース: 同じ質問信号に同期
- ▶ マルチパス

### ▶ 非同期干渉妨害

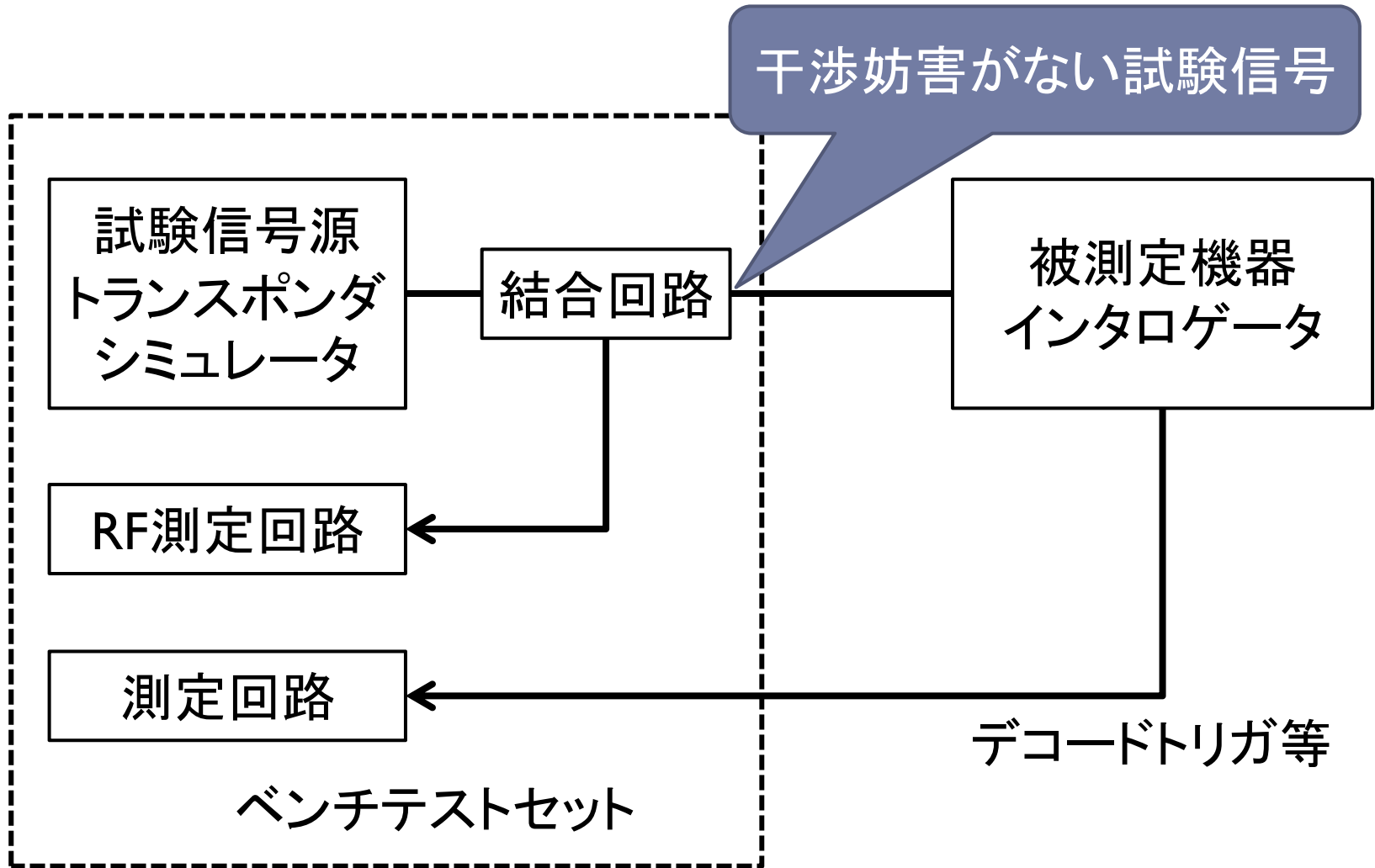
- ▶ 異なる質問信号への応答やスキッタ

## ▶ 運用環境＝信号環境: 信号や干渉の発生状況

- ▶ 目的の信号に干渉する信号の数, 電力
- ▶ 監視システムの性能に影響    解読率, 誤解読率, BER



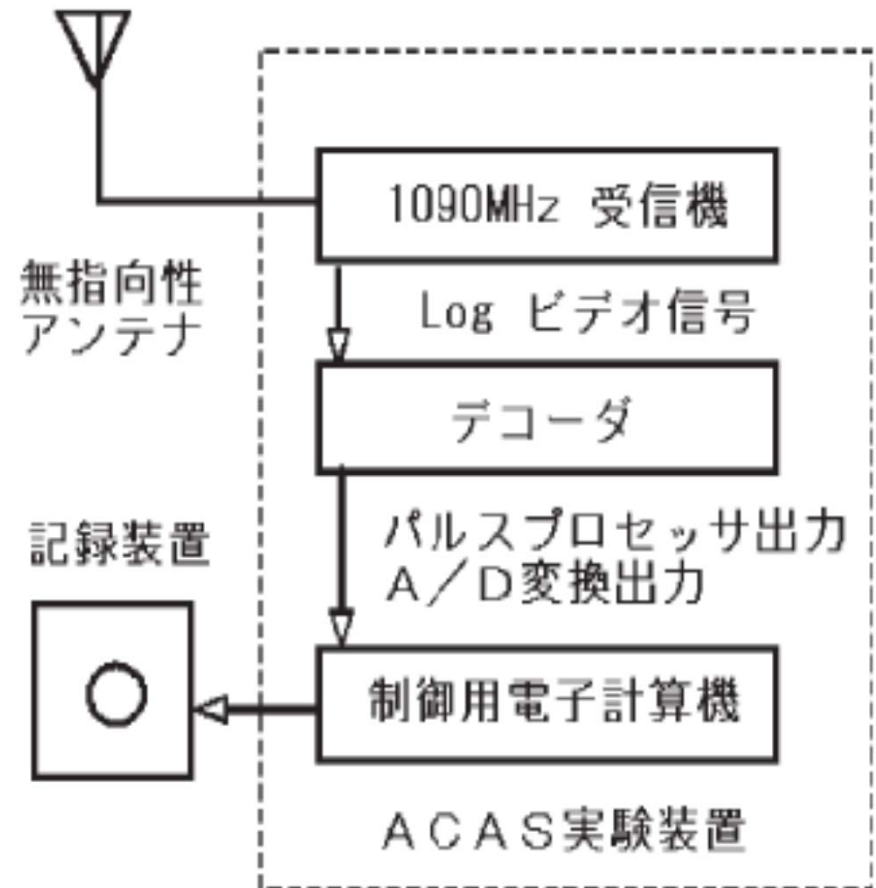
# 基本的なベンチテストセットの例



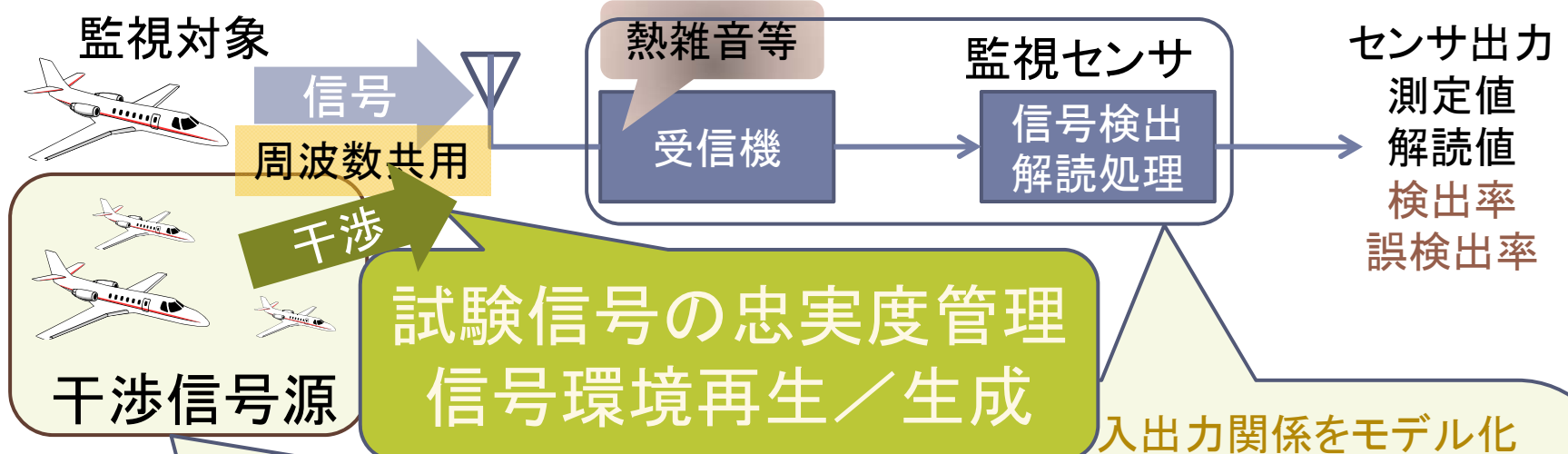


# 1090MHz信号環境の測定

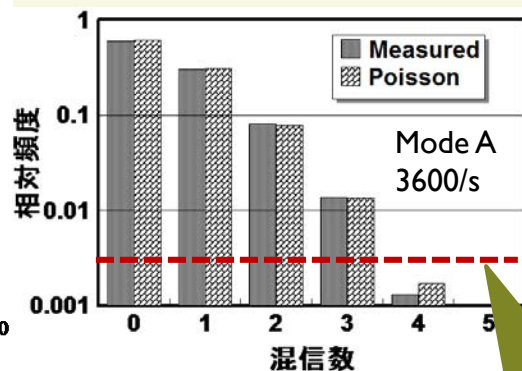
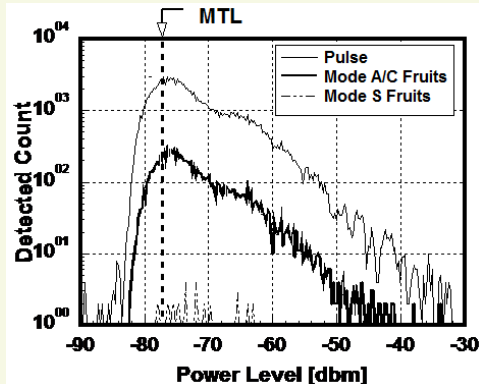
- ▶ 無指向性アンテナ
  - ▶ ダイポール相当
  - ▶ 東京都調布市ENRI内タワー
  - ▶ プリアンプでケーブル損補償
- ▶ 航空機衝突防止装置相当
  - ▶ MTL = -77dBm
  - ▶ 1090MHz 14MHzBW
  - ▶ モードA/C/S デコーダ
    - ▶ 信号検出トリガ
    - ▶ リーディングエッジ判定トリガ
  - ▶ パルス振幅を8bit A/D



# 試験用干渉信号源の品質の観点



信号環境の知見を基に試験信号生成  
電力分布の設定 必要な信号源の数

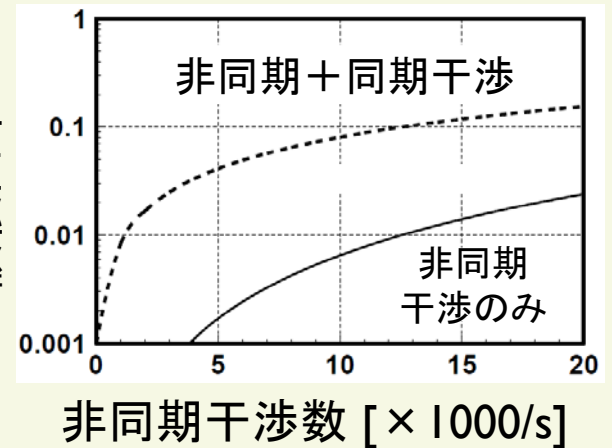


今回発表

測定回数  
で決定

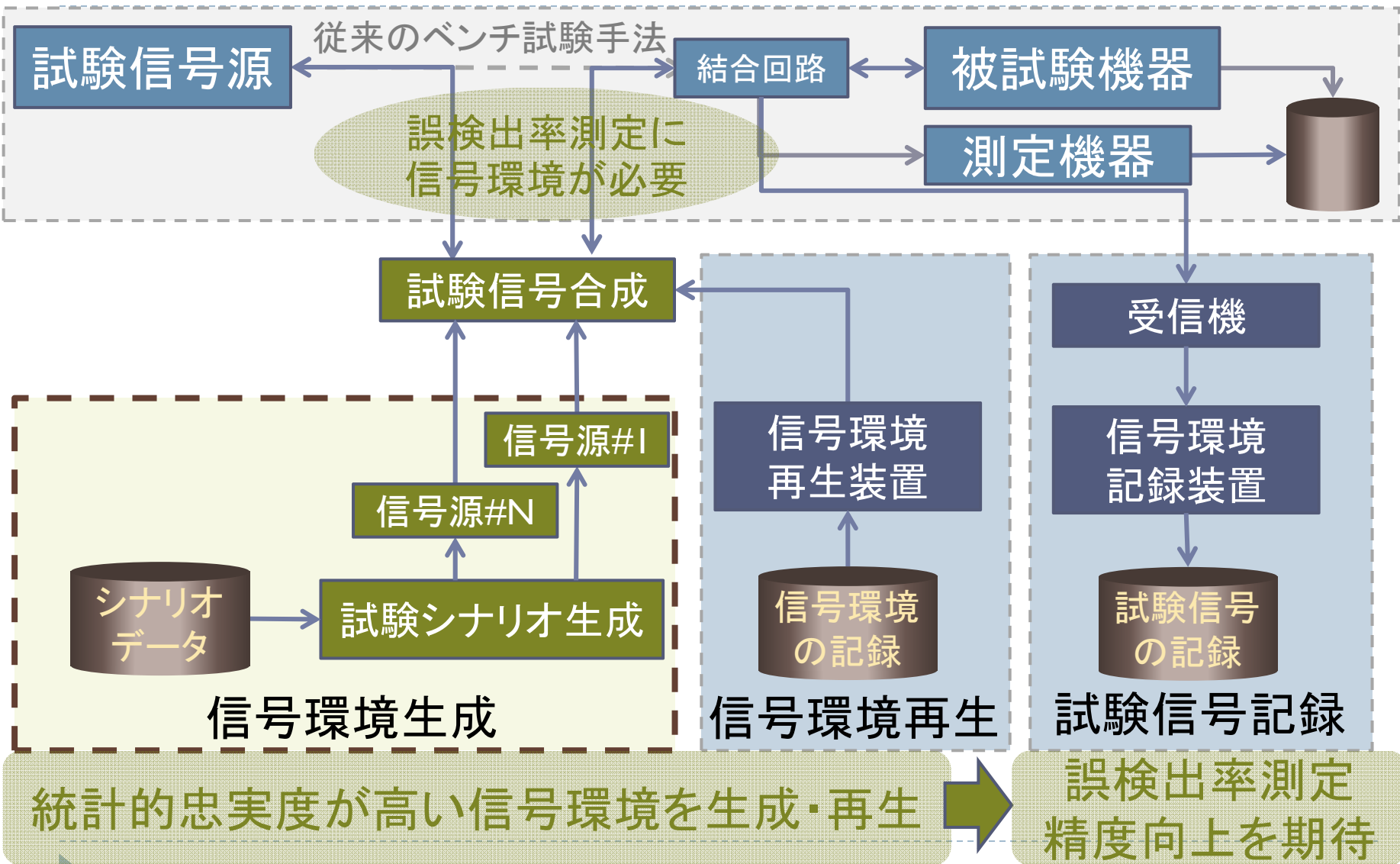
入出力関係をモデル化  
測定に必要な信号数を概算

検出率



ICSANE2012発表

# 干渉ベンチ試験手法改良の提案



# 信号環境の忠実度を向上させる手法

---

- ▶ **信号環境の記録再生＝今回実現**
  - ▶ 信号発生器を持たない未知の干渉信号の影響も測定可能
  - ▶ 性能に影響する未知の干渉の抽出可能
  - ▶ 試験条件は記録された信号に制約
  - ▶ 雑音を前処理して電力を整合
- ▶ **質問応答過程を再現**
  - ▶ 多数のトランスポンダシミュレータを使用＝経済的ではない
  - ▶ 未知の干渉信号の影響は測定不能
  - ▶ 質問応答過程を再現
- ▶ **統計的性質を再現できる非同期混信妨害源＝今回提案**
  - ▶ 信号環境測定データの分析結果を活用



# 提案方式のための制御手法

---

- ▶ 信号環境の統計的性質を再現する
- ▶ 電力分布制御
  - ▶ 一様乱数を用いる送信電力設定
    - ▶ 変換式を用いて電力分布を測定値に合わせる
    - ▶ 面積一様分布: 電力に反比例
    - ▶ 距離一様分布: 電力の平方根に反比例
    - ▶ 上記2種類の分布の線形結合
- ▶ 混信数の統計分布の制御
  - ▶ 信号の発生間隔を指数分布させる
    - ▶ このとき混信する信号数はポアソン分布する

