

# マイクロ波近距離無線通信システムにおける 伝搬経路同定システムの構築

東京工業大学

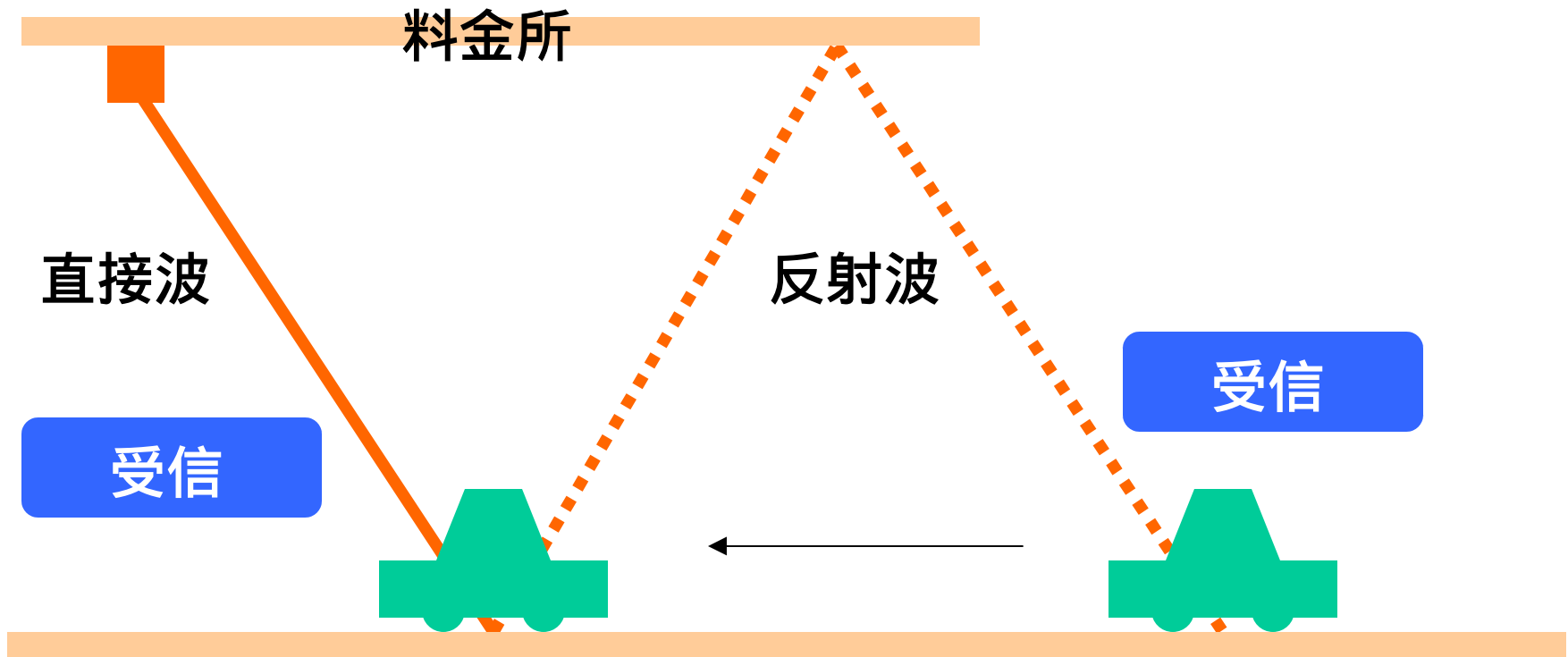
羽田 勝之   高田 潤一   阪口 啓   荒木 純道

日本道路公団   岩田 武夫

竹中技研   脇中 義孝

# 研究背景

## ETC (自動料金支払システム) における問題



2回以上受信

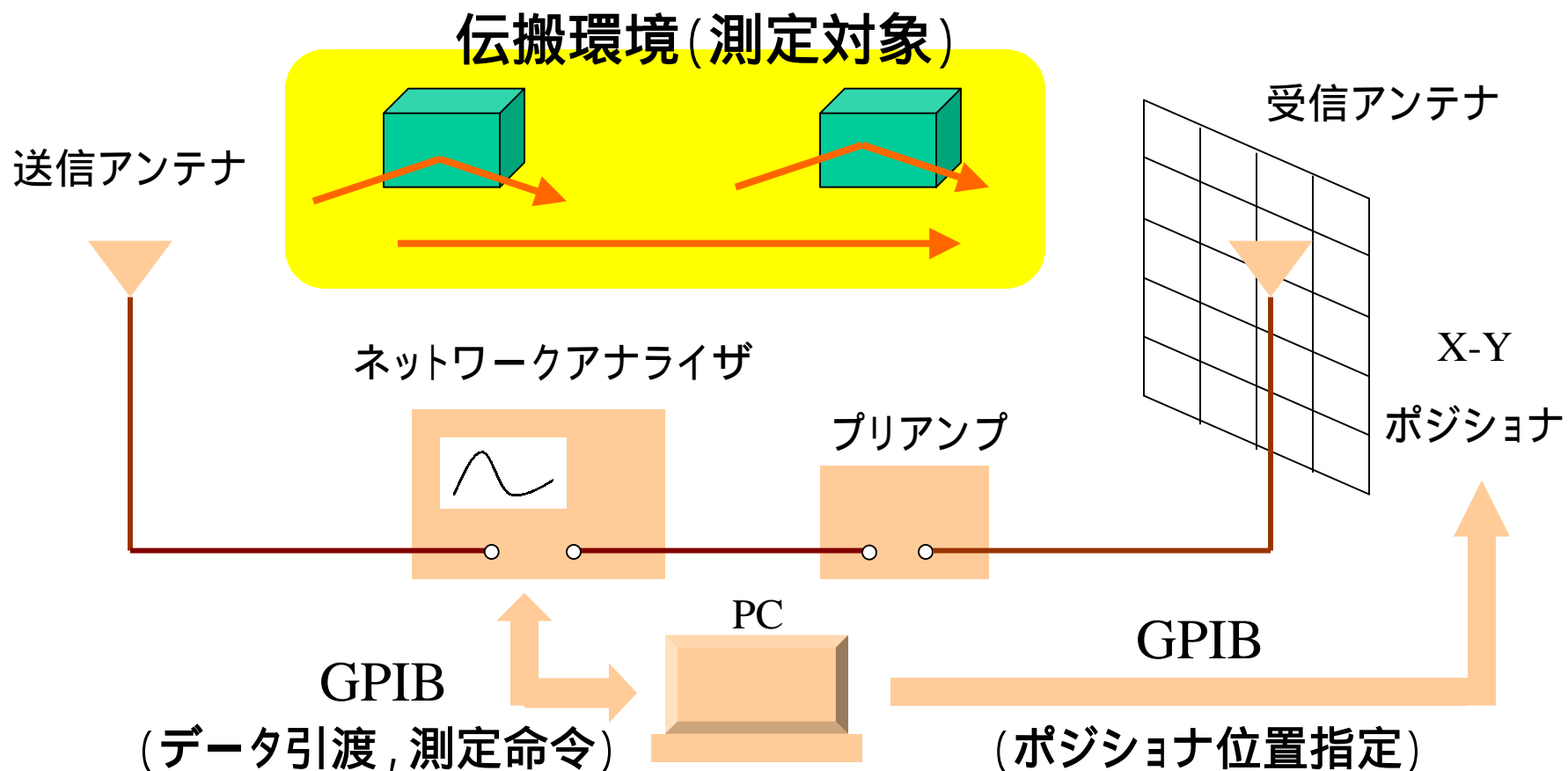
多重課金など

誤動作を引き起こす電波の抑圧

伝搬経路同定

# 測定系の提案(1)

## (1) 装置の構成



送受信アンテナ間の空間伝達関数分布を自動測定

# 測定系の提案(2)

## (2) 信号処理アルゴリズム

得られたデータ(伝達関数分布)より

**到来波のパラメタを推定**

(推定パラメタ:仰角・方位角・遅延時間・電力)

原理:フーリエ変換対の利用

空間内瞬時伝達関数	フーリエ 変換	角度プロファイル
周波数軸上瞬時伝達関数		遅延プロファイル

使用アルゴリズム:

**3-D ユニタリ ESPRIT, SAGE アルゴリズム**

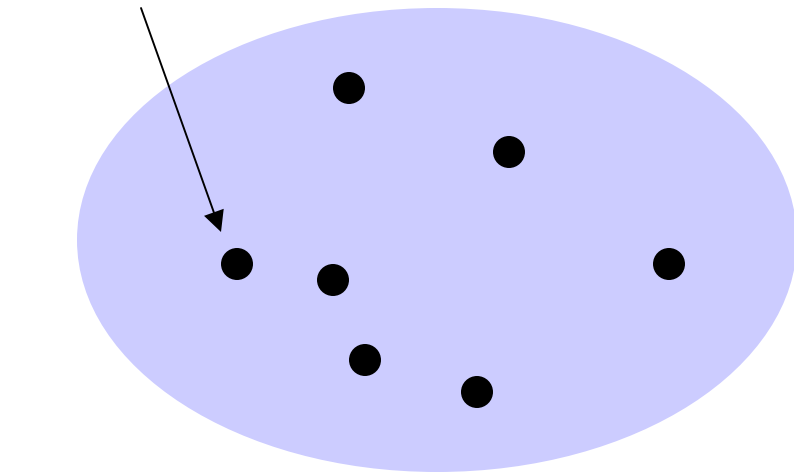
特徴:**超分解能を実現**

# 信号処理アルゴリズム(1)

## (1) 3-D ユニタリ ESPRIT

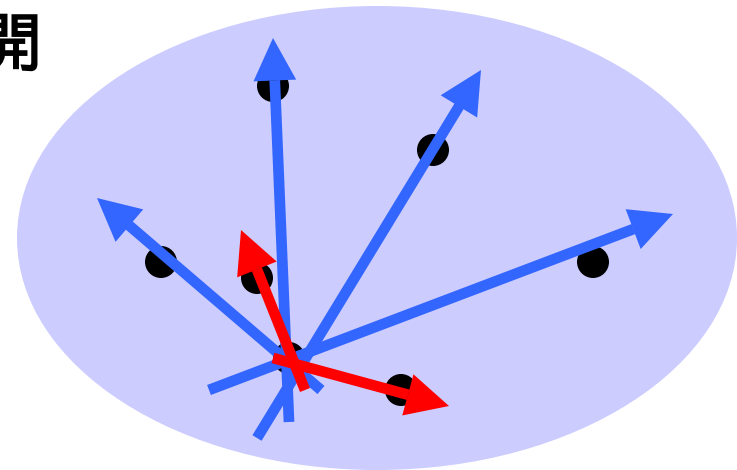
相関行列の固有展開により信号部分空間を求める

サンプル点



パラメタ空間

固有展開



空間を構成する基底ベクトルを生成

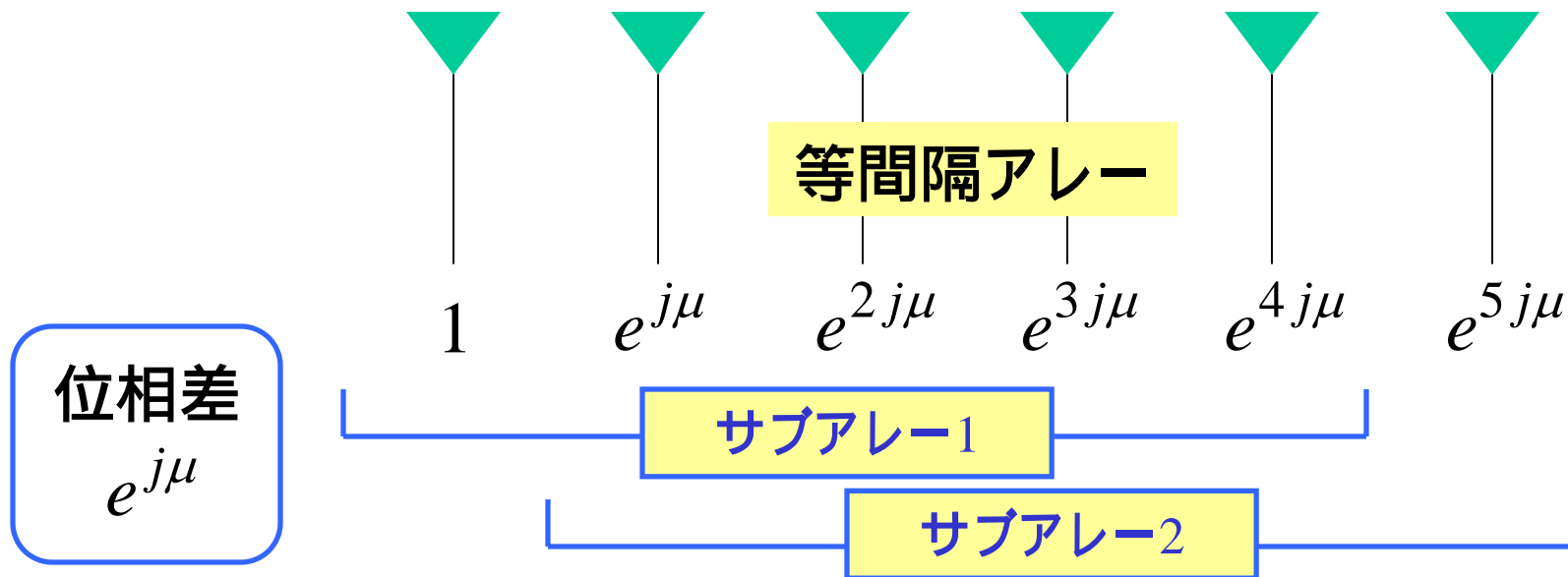
信号部分空間と雑音部分空間の分離が可能

# 信号処理アルゴリズム(2)

## (1) 3-D ユニタリ ESPRIT

パラメタ空間内のサーチ不要

: rotational invariance の関係を用いるため



他の超分解能アルゴリズム (ex. MUSIC) にはない特徴

# 信号処理アルゴリズム(3)

## (1) 3-D ユニタリ ESPRIT

### 問題点

- : 多重到来波の相関大 **分離に不具合**  
相関を下げるための**スムージングが不完全**  
推定パラメタが実環境と一致せず(同定困難)
- : 平面波でない到来波が予想される  
このアルゴリズムでは評価できない

**SAGE アルゴリズムの適用**

# 信号処理アルゴリズム (4)

## (2) SAGE アルゴリズム

**最尤推定 (Maximum Likelihood) に基づく**

- : 平面波近似できない波も評価可能
- : 計算量を鑑みてサーチ方法を工夫

**統計的性質を用いて各素波を分離**

(Expectation-Maximization algorithm)

**サーチのパラメタ空間を分割**

(Space Alternating Generalized EM algorithm)

この方法でも収束性, 尤度の単調増加性が  
証明されている



# 信号処理アルゴリズム (5)

## (2) SAGE アルゴリズム

<b>ML</b>	Wave #1	Wave #2	.....	Wave #L
Parameter #1	$a_1$	$a_2$	.....	$a_l$
Parameter #2	$b_1$	$b_2$	.....	$b_l$
Parameter #3	$c_1$	$c_2$	.....	$c_l$

<b>EM</b>	Wave #1	Wave #2	.....	Wave #L
Parameter #1	$a_1$	$a_2$	.....	$a_l$
Parameter #2	$b_1$	$b_2$	.....	$b_l$
Parameter #3	$c_1$	$c_2$	.....	$c_l$

# 信号処理アルゴリズム(6)

## (2) SAGE アルゴリズム

<b>SAGE</b>	Wave #1	Wave #2	.....	Wave #L
Parameter #1	$a_1$	$a_2$	.....	$a_l$
Parameter #2	$b_1$	$b_2$	.....	$b_l$
Parameter #3	$c_1$	$c_2$	.....	$c_l$

この試行を1セットとして,これを何回も繰り返す  
段階的に尤度を上げることができる

**〔重要〕 試行の際に用いるパラメタ初期値**

SAGEが局所探索アルゴリズムのため

**ESPRIT の結果を初期値として用いる!**

# 伝搬環境の実測風景

方位角: Rx正面方向 $0^{\circ}$ , 左 $90^{\circ}$

仰角: Rx水平面内 $0^{\circ}$ , 上 $90^{\circ}$



Tx : 地上 5.0m , Rx : 地上 1.5m(スキャン点中心) , Tx - Rx 水平距離 5.0m

# 測定における諸元

測定データ: 空間内格子点 ( $10 \times 10$ ), 2.5cm 間隔  
周波数軸上 21 点 (5.8 ~ 5.9GHz 間)

スナップショット: 20 回

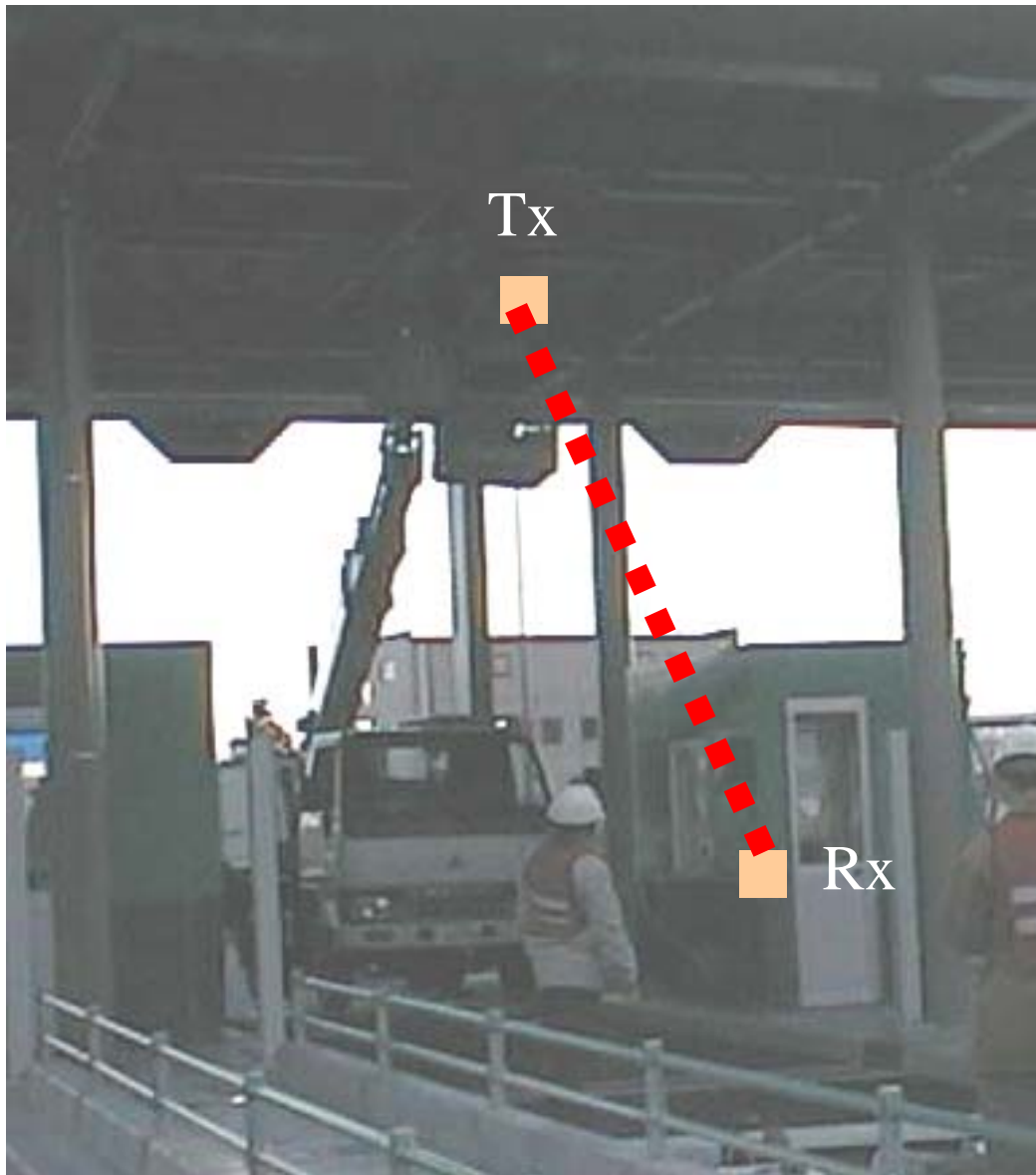
使用偏波: 直線 (垂直・水平), 信号処理時偏波平均

ESPRIT における: 空間方向各 4 回, 周波数軸上 7 回  
スムージング

キャリブレーション: Back-to-back, 周囲に障害物の少ない屋外にて送受信アンテナを 1m 離して実施

アンテナ: Tx, Rx とも半波長標準ダイポール

# 測定結果(1)



Wave # 1 直接波

方位角 : 3.556 [deg]

仰角 : 35.685 [deg]

遅延時間 : 20.530 [nsec]

電力 : - 62.22 [dB] (v偏波)

(理論値) : 実測値とよく整合

方位角 : 2.291 [deg]

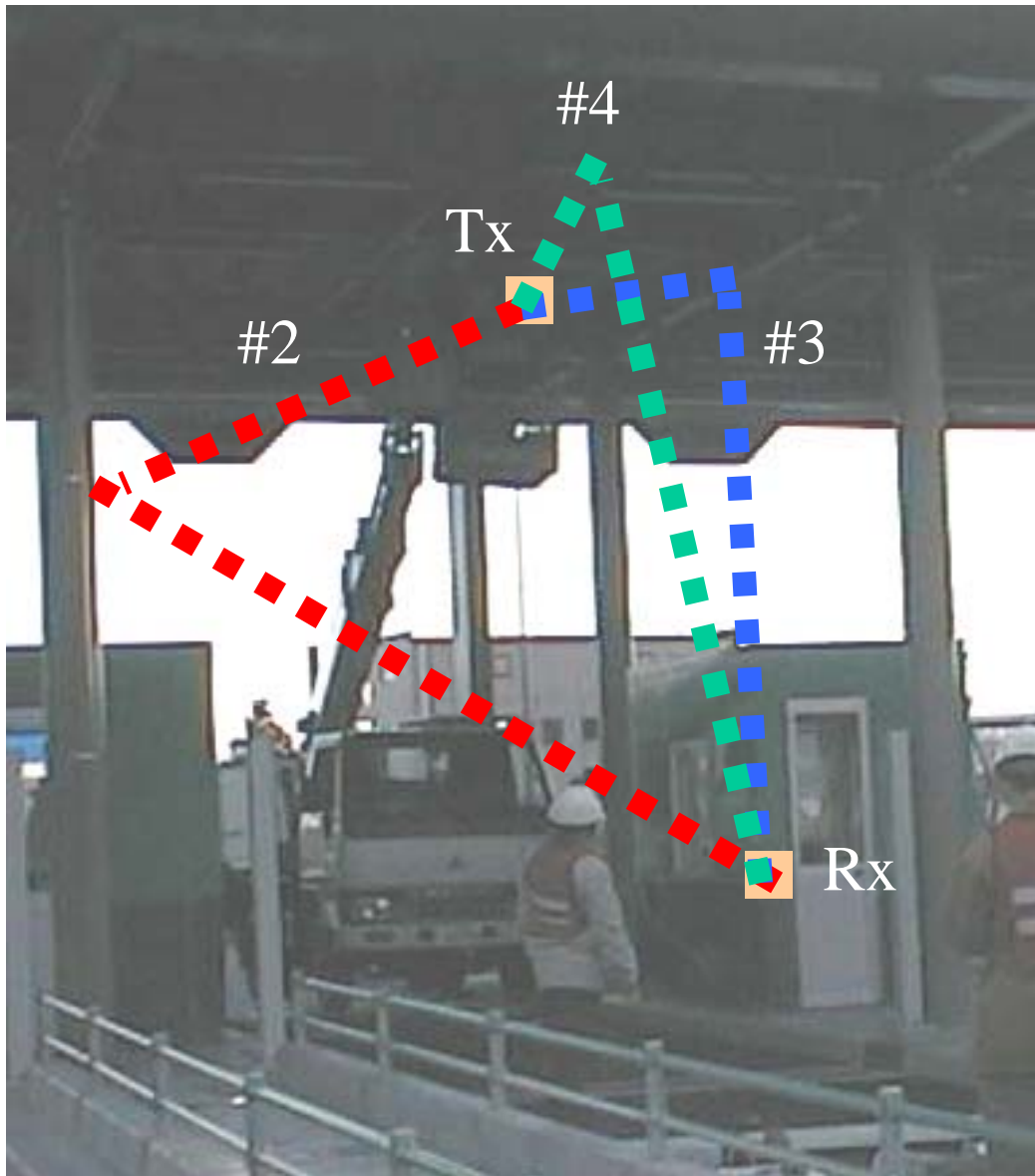
仰角 : 34.971 [deg]

遅延時間 : 20.355 [nsec]

電力 : - 63.50 [dB]

到来波は全部で 10波

# 測定結果(2)



## Wave #2 左ポール反射

方位角: 33.625 [deg]

仰角: 22.132 [deg]

遅延時間: 29.870 [nsec]

電力: - 75.34 [dB](v偏波)

## Wave #3 右側梁反射

方位角: - 19.417 [deg]

仰角: 28.458 [deg]

遅延時間: 27.098 [nsec]

電力: - 82.10 [dB](v偏波)

## Wave #4 天井反射

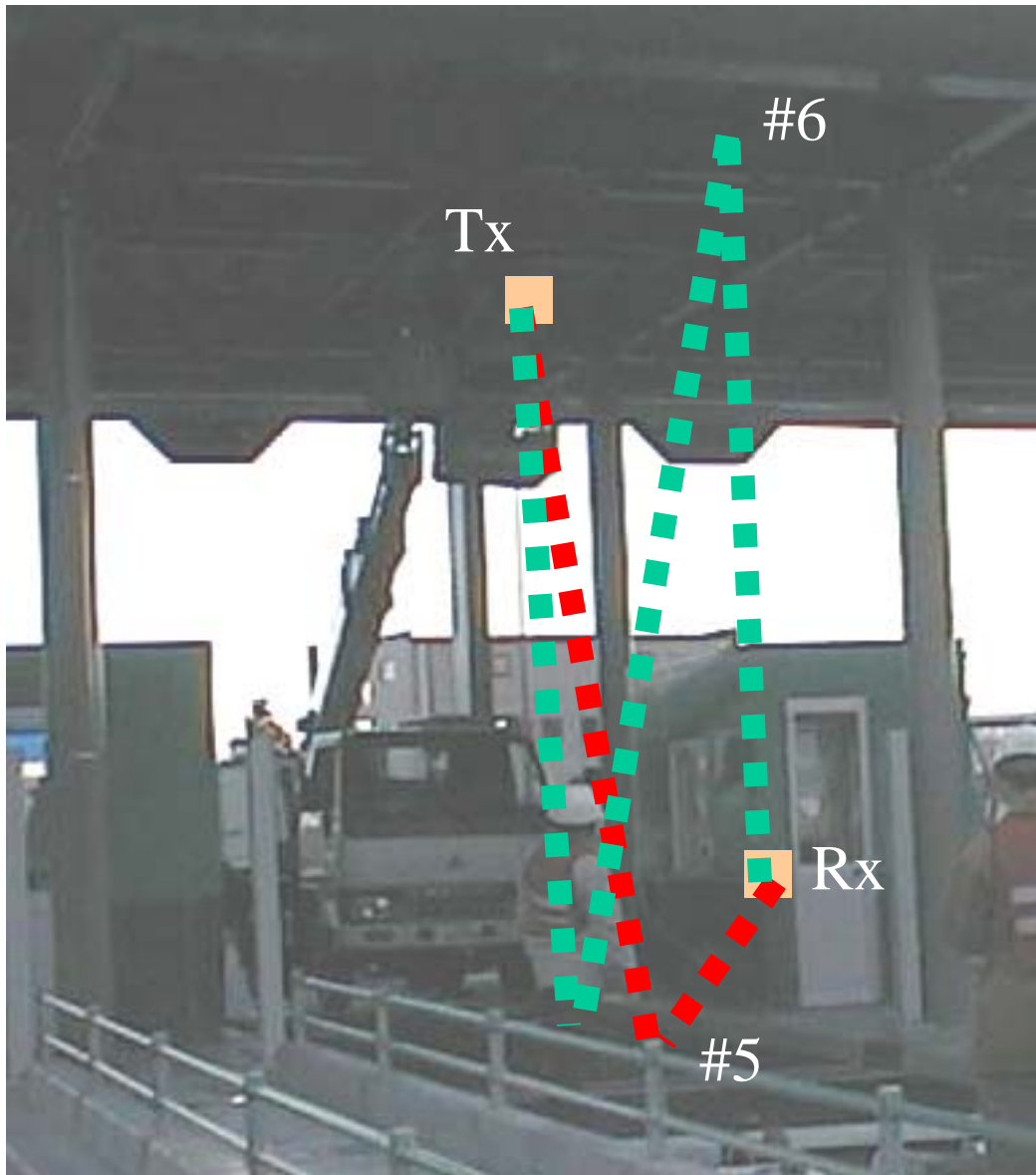
方位角: 3.436 [deg]

仰角: 52.994 [deg]

遅延時間: 27.139 [nsec]

電力: - 82.25 [dB](v偏波)

# 測定結果(3)



## Wave #5 地面反射

方位角: 1.872 [deg]

仰角: - 54.832 [deg]

遅延時間: 29.587 [nsec]

電力: - 84.59 [dB](v偏波)

## Wave #6 地面・天井反射

方位角: 2.796 [deg]

仰角: 63.723 [deg]

遅延時間: 50.643 [nsec]

電力: - 87.18 [dB](v偏波)

# 実験結果について

構築したシステムにより、ある程度正確なパス推定が可能

- ー システム(測定系・信号処理アルゴリズム)の妥当性を示す
  - ー パスの妥当性: 実環境における対応
    - : ほぼ全てのパスが「一意」に同定可
    - : 非正規反射が検出・・・反射物の形状が影響
- より厳密な解析へのアプローチにもなる



# まとめ

ETCのための伝搬パス同定システムを構築

- － 測定が簡易で、かつ精度及び確度を保証
- － 高速道路料金所での実験で有効性を確認

## 幅広い用途への可能性

- ： 電波吸収体施工後の確認試験
- ： アンテナの設計(指向性, 偏波など)
- ： DSRC のゾーン設計(電力分布の評価)

## 今後の課題

- － インターフェイスの充実(汎用性を高める)
- － 信号処理(波数推定, 処理の自動化 etc...)

# 伝搬環境の実測風景



圏央道 日の出料金所にて実施