

# 大型アンテナの放射パターン測定の基礎 Fundamentals of Radiation Pattern Measurement for Large Antennas

中本 成洋<sup>†</sup>

Narihiro NAKAMOTO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 三菱電機株式会社

Mitsubishi Electric Corp.

## 概要

各種無線通信やセンシング、電力伝送など電波を利用するシステムが幅広い分野で活用されている。電波を利用するためにはアンテナは必須の技術であり、アンテナ設計の妥当性検証や法規、規格等で定められたアンテナに関する規定を満足していることを検証するため、アンテナの特性を測定する技術も必須となる。

無線システムにおいては、信号源からの信号がアンテナに効率よく入力することができ、かつ、入力した信号が設計通りに空間に放射されることが求められ、これらが重要な評価指標となる。そこで、本基礎講座では、これら重要な評価指標となるアンテナの反射特性と放射パターンの測定法について概説する。

一般に、アンテナの放射パターンの測定においては、送信アンテナから放射された電波が試験アンテナに平面波として入射するように送受アンテナ間の距離を十分長くとり、測定を行う。そのため、アレーアンテナや反射鏡アンテナなど比較的大型のアンテナの放射パターンを測定するには、長い測定レンジが必要となる。一方で、高精度かつ安定した測定が可能な電波暗室内で放射パターン測定を行うには、設備の制約により長い測定レンジが取れないという問題がある。これに対して、短い測定レンジで大型のアンテナの放射パターン測定を行う方法として、コンパクトアンテナテストレンジを用いる方法や、近傍電界の測定値から遠方界の放射パターンを算出する近傍界測定法などがある。本講座の後半では、これら測定法について、その長所・短所などを比較しながら解説を行う。

## Abstract

Antenna is an essential component or technology of radio systems, and antenna measurement is mandatory to verify antenna performance. Return loss, gain, and radiation pattern are one of the most important metrics of antenna performance. This course explains fundamentals of antenna measurement, including impedance measurement and radiation pattern measurement. Measurement using a compact antenna test range (CATR) and the near-field to far-field transformation method will be also explained for radiation pattern measurement for large antennas.

# 大型アンテナの放射パターン測定の基礎

## Fundamentals of Radiation Pattern Measurement for Large Antennas

中本 成洋<sup>†</sup>

Narihiro NAKAMOTO<sup>†</sup>

三菱電機株式会社

Mitsubishi Electric Corp.

[Nakamoto.Narihiro@ap.MitsubishiElectric.co.jp](mailto:Nakamoto.Narihiro@ap.MitsubishiElectric.co.jp)

# 目次

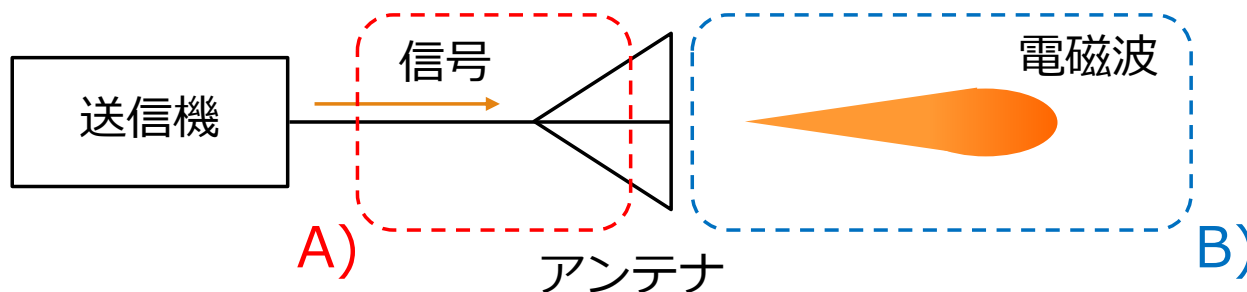
---

1. はじめに
2. アンテナの反射特性測定
3. アンテナの遠方界測定
4. コンパクトレンジ測定
5. 平面走査近傍界測定
6. むすび
7. 文献および著者紹介

# 1. はじめに

## アンテナ測定の必要性

- アンテナは高周波信号に対して、送・受信機と空間をつなぐインタフェース。無線システムの性能を左右する重要なコンポーネント
  - アンテナ／無線システム設計の妥当性や法規／規格で定められた規定を満足しているかの確認のため、アンテナ測定が必要
- A) 送信機から入力した信号が効率良くアンテナに入力できるか？
- B) アンテナに入力した信号が効率良く／設計通りに（規定を満足して）、空間に放射できるか？



# 1. はじめに

---

## 代表的なアンテナの性能評価指標

- ① 反射特性（反射係数／リターンロス）  
アンテナに入力した信号が、どれだけ反射されて戻ってくるかを示す
- ② 放射特性
  - 放射パターン  
アンテナから放射された電磁波が空間的にどのように放射されるかを示す
  - 利得  
特定の方向にどれだけ強い電磁波を放射できるかを示す
  - 偏波  
アンテナから放射された電磁界（電界）の向きを示す
  - 放射効率  
アンテナに入力した電力が、どれだけ空間に電磁波として放射されるかを示す

# 1. はじめに

---

## 本講座のトピック

本基礎講座では、アンテナ測定法の基礎として、特に重要な性能評価指標に着目し、以下4点について解説

- アンテナの反射特性測定（2章）
- アンテナの遠方界測定（3章）
- コンパクトレンジ測定（4章）
- 平面走査近傍界測定（5章）

# 目次

---

1. はじめに
2. アンテナの反射特性測定
3. アンテナの遠方界測定
4. コンパクトレンジ測定
5. 平面走査近傍界測定
6. むすび
7. 文献および著者紹介

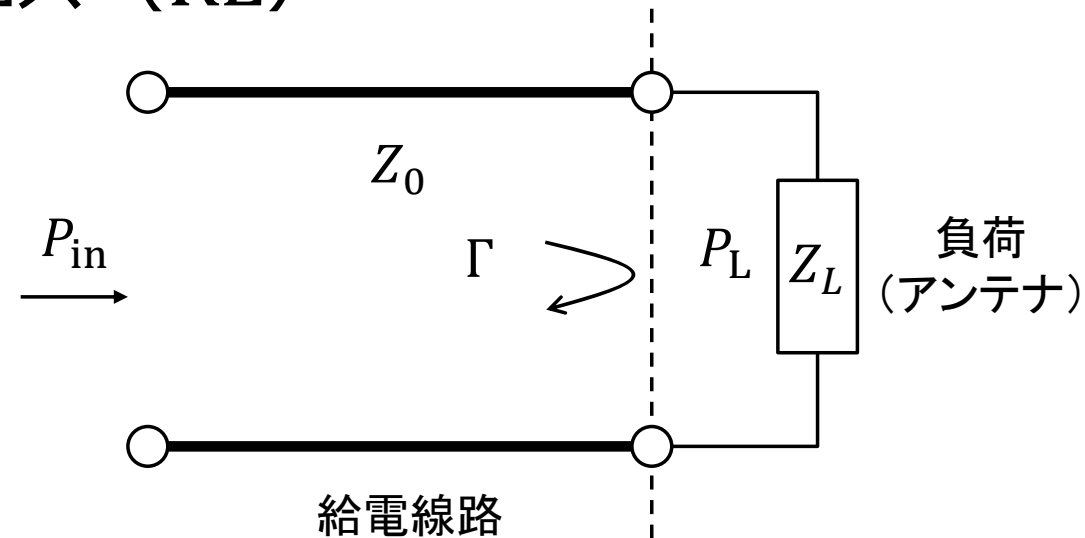
## 2. アンテナの反射特性測定

### 反射係数 ( $\Gamma$ ) / リターンロス (RL)

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad [\text{dB}]$$

- アンテナの入力インピーダンスで決まる
- アンテナに伝送される電力は  $P_L = (1 - |\Gamma|^2)P_{in}$
- アンテナから放射される電力の大小を決める  
評価指標の一つ



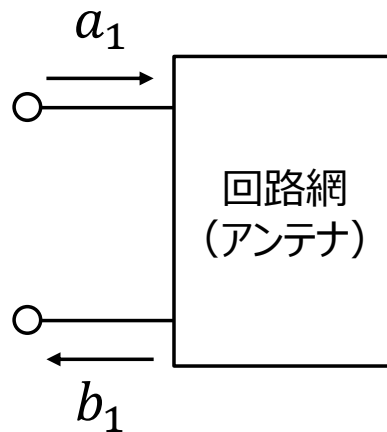
- $Z_L$ : 負荷インピーダンス  
(アンテナの入力インピーダンス)
- $Z_0$ : 給電線路の特性インピーダンス
- $P_{in}$ : 給電線路からの入力電力
- $P_L$ : 負荷(アンテナ)に伝送される電力

## 2. アンテナの反射特性測定

### Sパラメータと反射係数

- Sパラメータは、回路網への入射波に対する反射波、透過波の関係を示す
- (単一の) アンテナは 1 ポートの回路網。入射波 $a_1$ と反射波 $b_1$ の比が $S_{11}$ であり、反射係数と等価

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \Gamma$$



## 2. アンテナの反射特性測定

### Sパラメータ／反射係数の測定

- Sパラメータはベクトルネットワークアナライザ（VNA : Vector Network Analyzer）で測定可能
- VNAはRF信号源、方向性結合器、受信機（ミキサ含む）などから成り、測定データを信号処理する機能を有する測定器
- 単なるSパラメータだけでなく、タイムドメイン機能を使うことで、測定対象における反射点の位置の特定なども可能

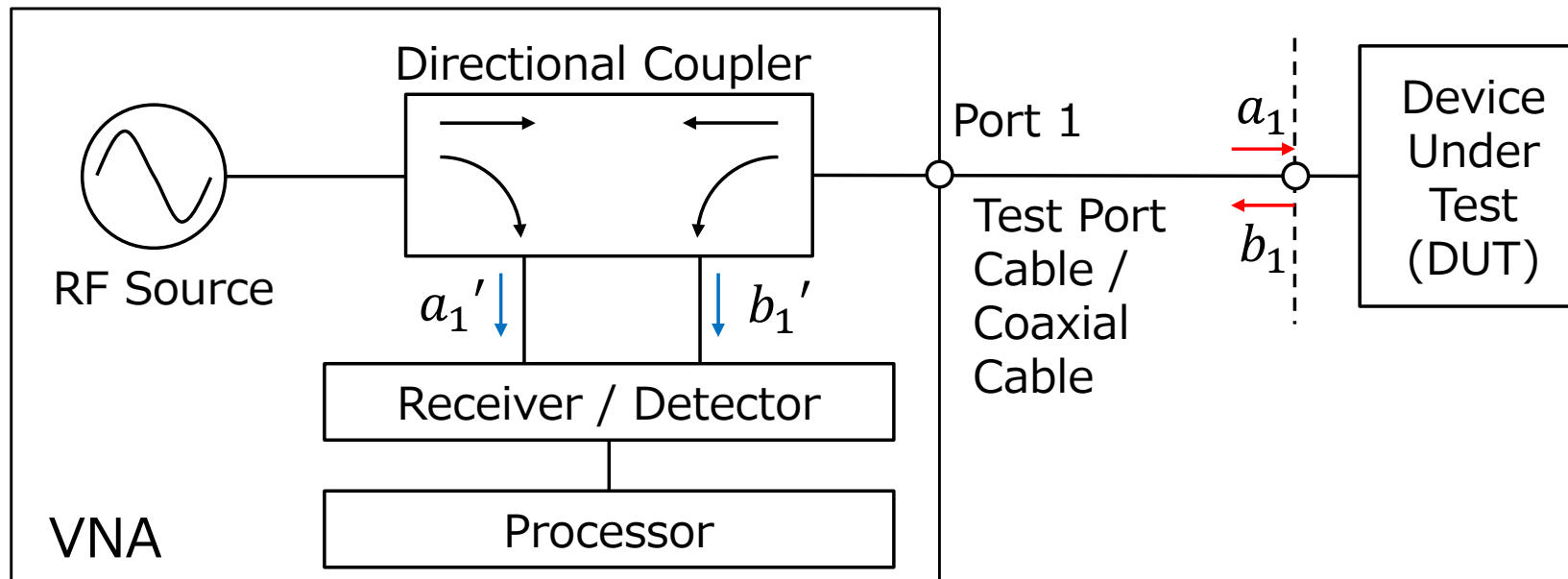


VNAの例（Keysight N5224B）

## 2. アンテナの反射特性測定

### VNAを用いた反射係数の測定

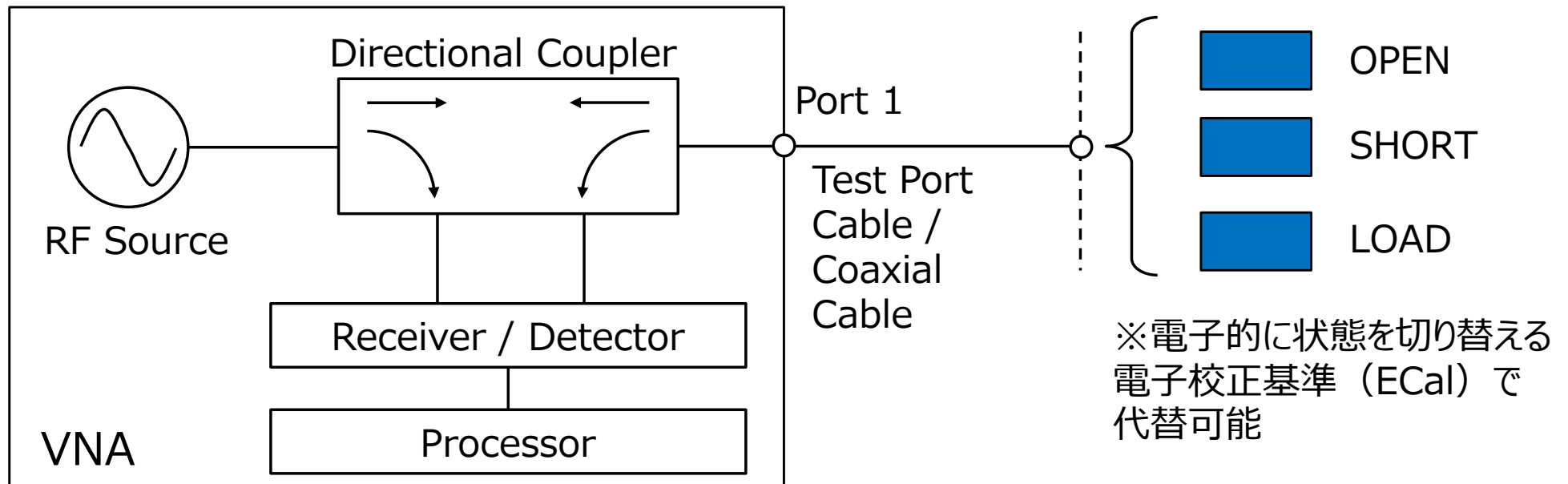
- DUTの反射係数は $b_1/a_1$ であるが、VNAでは受信機に入力される $b_1'/a_1'$ を測定  
⇒両者を正確に結びつける処理（校正／キャリブレーション）が事前に必要



## 2. アンテナの反射特性測定

### VNAの校正

- VNA内部の各機器と外部のケーブルやコネクタの影響（系統誤差）を取り除く処理
- 3種の既知の校正基準を接続し、それぞれ測定。VNAはそれら測定結果を用いて内部で補正処理



## 2. アンテナの反射特性測定

---

### 校正結果の確認事項[1]

- 長時間（2時間が目安）の測定を行う場合や、測定結果に疑義がある場合は、以下の項目を確認し、校正が正しく機能しているかをチェック。問題があれば、再校正を実施する
  - ✓ ポートに何も接続しない開放状態にしたときに、 $S_{11}$ の振幅が0 dBに近いこと（目安は1 dB以内）
  - ✓ ポートにLOADを接続したときに、 $S_{11}$ の振幅が十分小さいこと（目安は-30 dB以下）
  - ✓ ポートにOPEN、SHORTを接続したときに、 $S_{11}$ の振幅が0 dBに近いこと（目安は0.05 dB以内）

## 2. アンテナの反射特性測定

---

### 測定時の注意点

- VNA(および備品)は高価な測定器のため、細心の注意を払って取り扱う
  - ✓ 清潔かつ適切なコネクタを使用し、着脱にはトルクレンチを使用  
(VNAのPC-3.5mmコネクタとSMAの接続に要注意。アダプタを利用)
  - ✓ 静電気対策 (静電気対策用マットやリストストラップを利用)
- 温度変化により動作変化するため、測定前にVNAのウォームアップを行い、室温を管理して測定する
- 校正時／測定時で、同軸ケーブルの状態を大きく変化させない
- 放射を伴うため、単なるマイクロ波回路の測定とは異なる注意が必要
  - ✓ 無線システムでのアンテナ設置環境に対応した環境で測定
  - ✓ 放射される電磁波に注意

# 目次

---

1. はじめに
2. アンテナの反射特性測定
3. アンテナの遠方界測定
4. コンパクトレンジ測定
5. 平面走査近傍界測定
6. むすび
7. 文献および著者紹介

# 3. アンテナの遠方界測定

## 遠方界測定とは

- アンテナの放射特性の測定には、対象とするアンテナが使用される環境と同等の環境で測定を行う必要がある
- 一般に、アンテナはアンテナから遠方の端末と通信／ターゲットを探知するため、アンテナ性能はアンテナの遠方界領域で規定されることがほとんど
- 対向アンテナと被測定アンテナ間の距離を十分に離して、遠方界条件を満たす距離でアンテナの放射特性を測定する方法



# 3. アンテナの遠方界測定

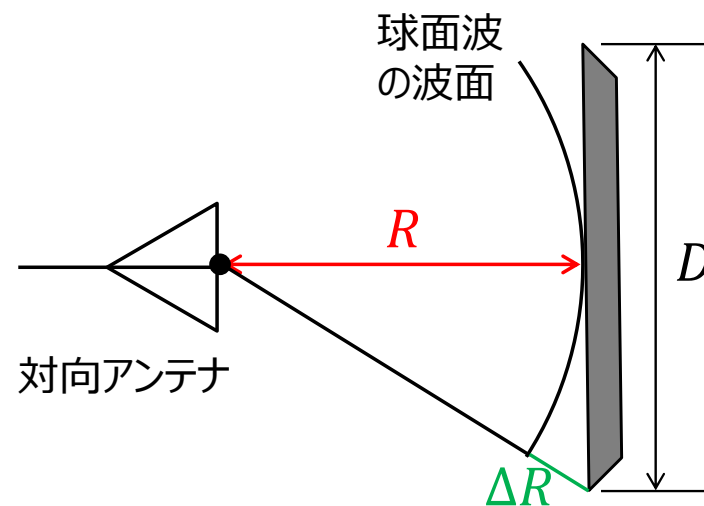
## 遠方界条件を満たす距離とは

- 被測定アンテナに入射する電波が（おおよそ）平面波とみなせる距離
- 次式を満たす距離が目安の一つ [2]

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

$\lambda$  : 自由空間での電波の波長

$D$  : 被測定アンテナの最大開口寸法



距離差 $\Delta R$ による位相差 $\leq \pi/8$

# 3. アンテナの遠方界測定

---

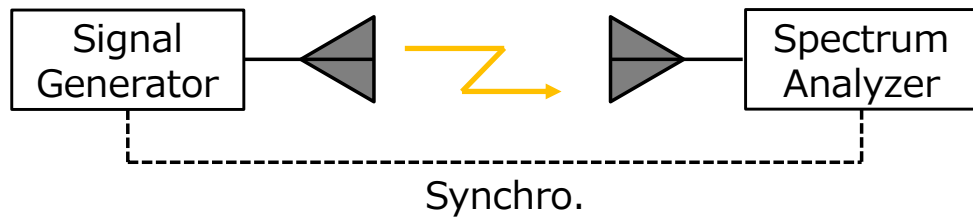
## アンテナ測定環境

- 屋外測定
  - (利点) 長い測定距離を確保できる
  - (欠点) ・周囲環境の反射波の影響や他の無線システムとの干渉  
・天候の影響を受ける
- 屋内測定（電波暗室）
  - (利点) ・周囲環境や他の無線システムの影響を低減できる  
・天候に左右されず、安定した測定が可能
  - (欠点) 長い測定距離が確保できない

必要な測定距離に応じて、アンテナ測定環境を選定

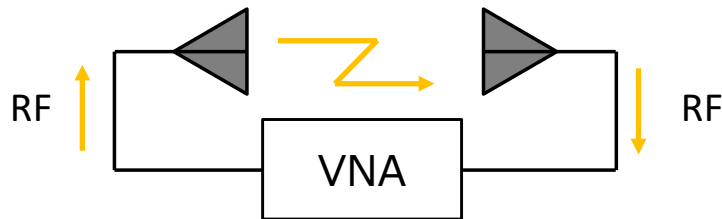
# 3. アンテナの遠方界測定

## アンテナ測定系 [1]



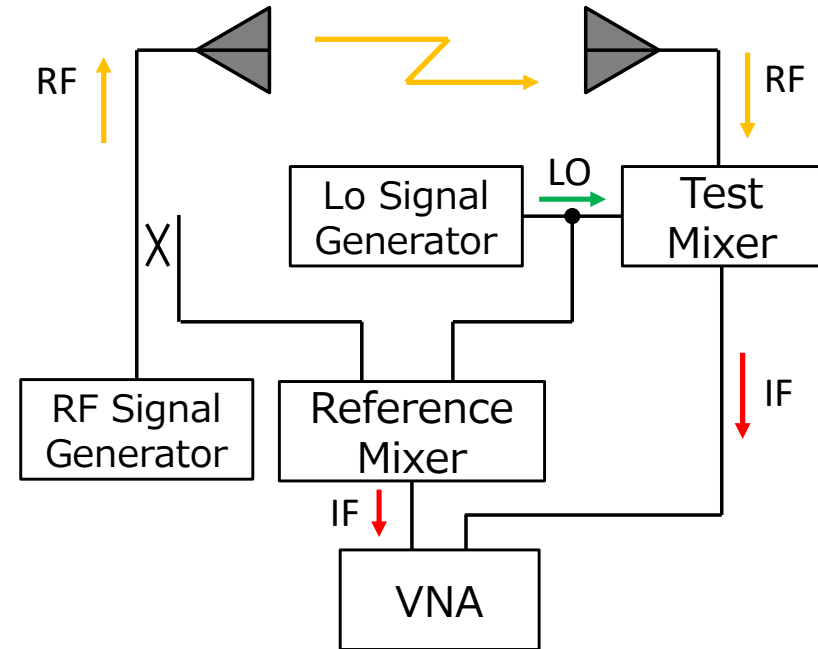
- 位相測定不可

(a) 基本的な構成



- 位相測定可

(b) VNA直結



- 位相測定可
- 長い測定距離でも、安定した測定可

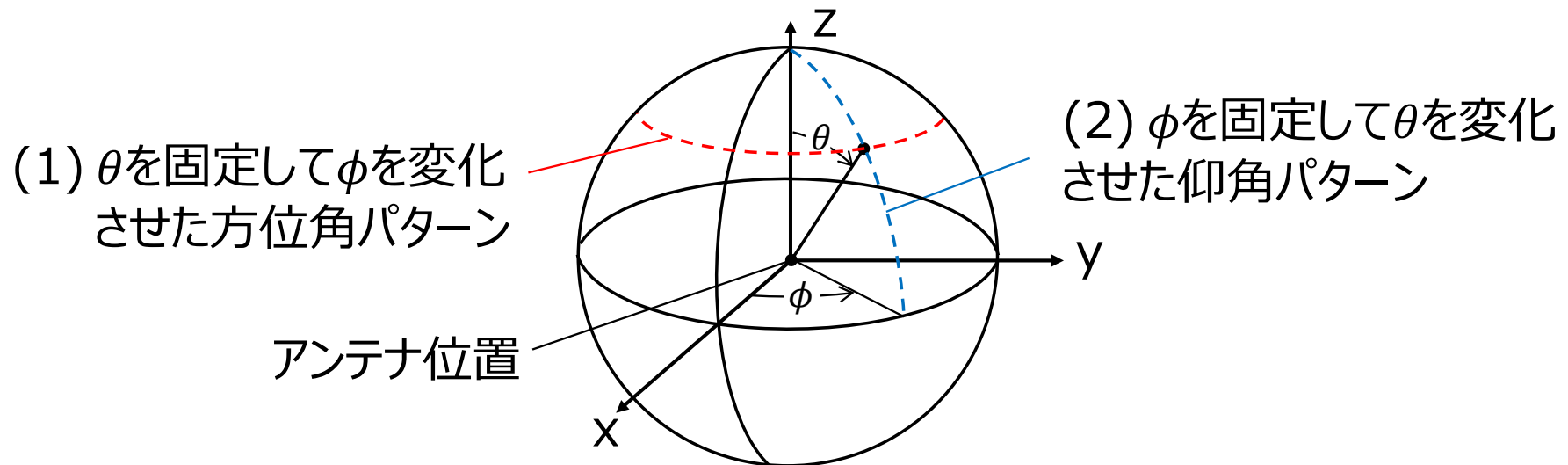
(c) 参照信号利用

測定周波数や測定したい内容によって適切な測定系を選定

# 3. アンテナの遠方界測定

## パターン測定 (1)

- アンテナから放射される電波強度の空間的な分布を放射パターンと呼ぶ
- 通常、球座標系の $(\theta, \phi)$ で観測方向を指定し、放射パターンを表示する
- 一般的には、球面全ての $(\theta, \phi)$ ではなく、特定の断面の放射パターンを表示／測定

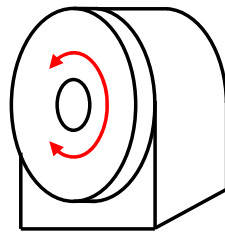
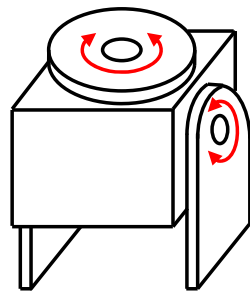
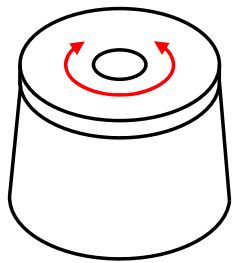


球座標系における放射パターン断面の例

# 3. アンテナの遠方界測定

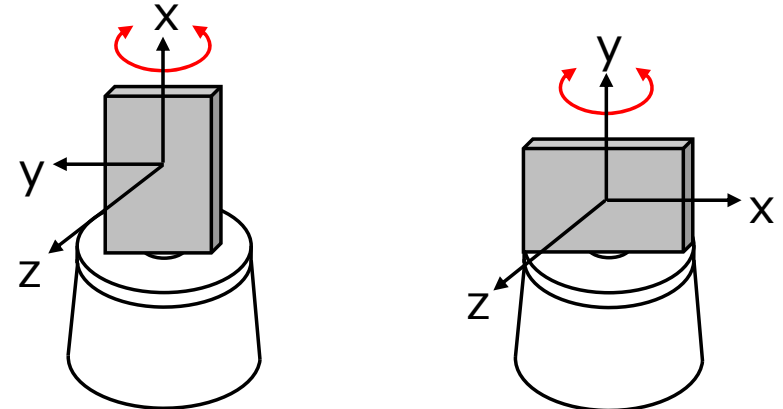
## パターン測定 (2)

- ポジショナ／回転台を利用し、測定方向を変更しながら測定
- 2軸ポジショナを用いれば、2次元のパターン測定も可能
- 測定したい放射パターン断面に合わせて、アンテナの載せ方／ポジショナを適切に選択
- 対向アンテナは測定したい偏波に合わせて選択／設置（円偏波測定は[3]を参照）



(a) AZポジショナ (b) AZ/ELポジショナ (c) Polポジショナ

ポジショナの例



yz面のパターン

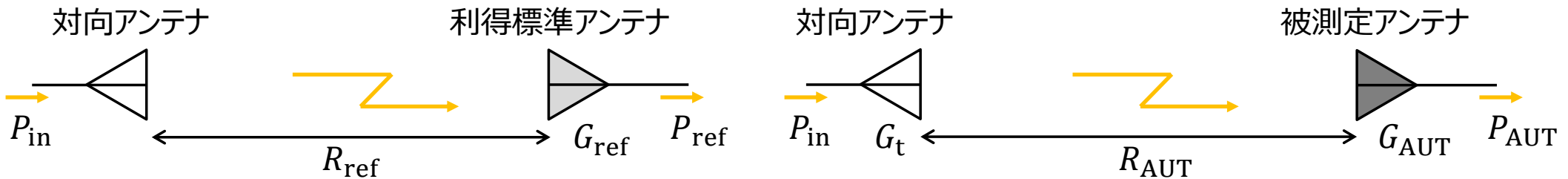
xz面のパターン

AZポジショナでのパターン測定

# 3. アンテナの遠方界測定

## 利得測定（比較法）

- 比較法：利得が既知のアンテナ（利得標準アンテナ）と被測定アンテナの受信電力の比を用いて、フリスの伝達公式に基づき利得を測定する方法



$$P_{\text{ref}} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R_{\text{ref}}} \right)^2 G_t G_{\text{ref}} P_{\text{in}}$$

$$P_{\text{AUT}} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R_{\text{AUT}}} \right)^2 G_t G_{\text{AUT}} P_{\text{in}}$$

$$\Rightarrow G_{\text{AUT}} = \frac{P_{\text{AUT}}}{P_{\text{ref}}} \left( \frac{R_{\text{AUT}}}{R_{\text{ref}}} \right)^2 G_{\text{ref}}$$

※利得標準アンテナと被測定アンテナの設置位置の違い（測定距離差）の考慮が必要

# 3. アンテナの遠方界測定

---

## パターン／利得測定的主要な誤差要因と対策

- アンテナ設置誤差による観測方向の誤差：
  - ✓ 水準器、レーザー墨出し器などを利用し、正確にアンテナを設置
- 測定に用いる同軸ケーブルの影響（特に小型アンテナの測定時に注意）：
  - ✓ 主偏波と同じ向きに配線しない
  - ✓ 測定中ケーブルが極力動かないよう設置
  - ✓ ケーブルの外導体に流れる不平衡電流をフェライトビーズなどで遮断
- 周囲環境からの反射：
  - ✓ 被測定アンテナをクワイエットゾーンに設置
  - ✓ ポジショナや取り付け治具を電波吸収体で覆う

# 目次

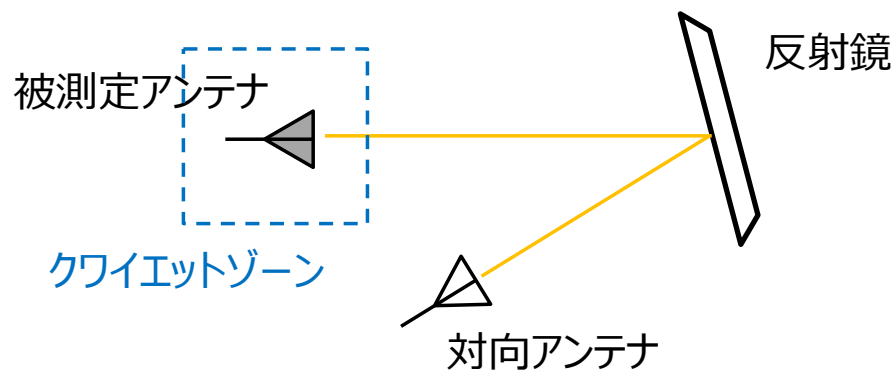
---

1. はじめに
2. アンテナの反射特性測定
3. アンテナの遠方界測定
4. コンパクトレンジ測定
5. 平面走査近傍界測定
6. むすび
7. 文献および著者紹介

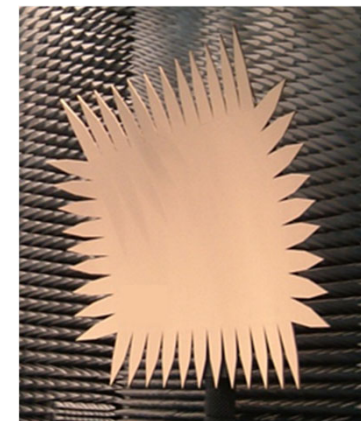
## 4. コンパクトレンジ測定

### コンパクトレンジとは[3]

- 大型のアンテナの遠方界を測定するには、非常に長い測定距離が必要  
(例：12GHzで開口寸法50 cmのアンテナの遠方界条件を満たす距離は20 m)
- コンパクトレンジは短い距離で遠方界を測定する方法の一種
- CATR (Compact antenna test range) とも呼ばれる



コンパクトレンジ測定の構成

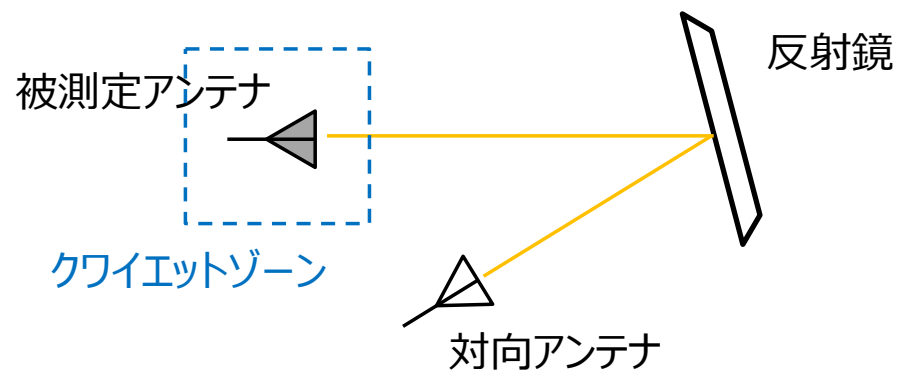


反射鏡の例

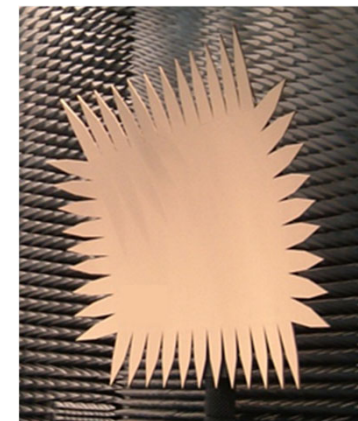
## 4. コンパクトレンジ測定

### コンパクトレンジとは[3] (つづき)

- 反射鏡を用いて平面波に変換した後、被測定アンテナに電波を入射
- 電界変動が小さい領域 (クワイエットゾーン) 内でのみ測定可能
- 放射パターンや利得の測定方法は遠方界測定と同一



コンパクトレンジ測定の構成

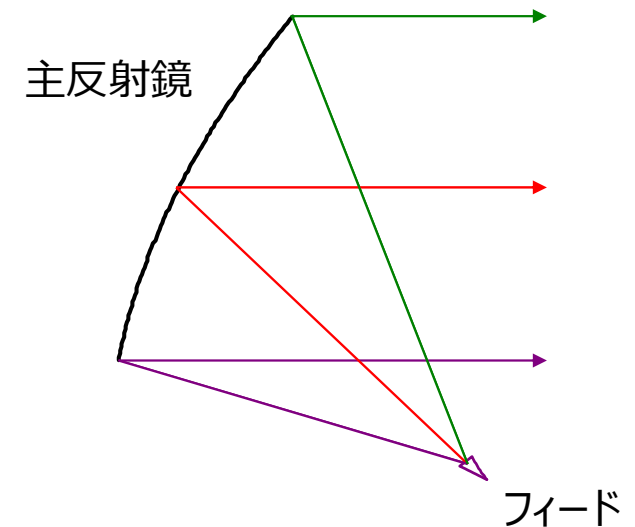


反射鏡の例

## 4. コンパクトレンジ測定

### 反射鏡の種類 (1)

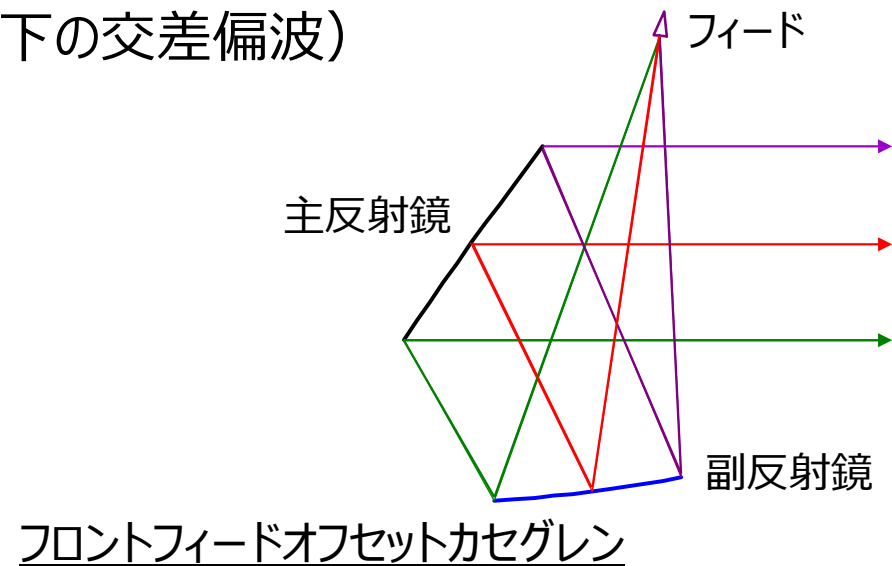
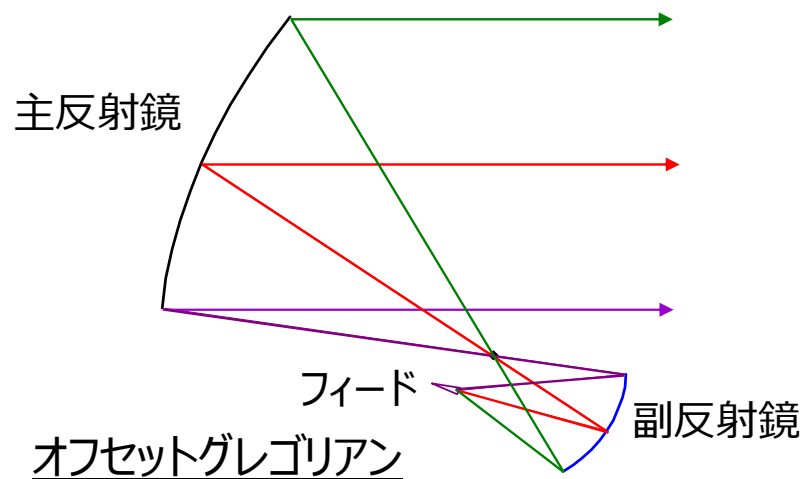
- 単一反射鏡方式 (オフセットパラボラ方式)
  - ✓ 最も一般的な方式
  - ✓ 反射鏡 1 枚で、設置面積も小さい
  - ✓ 鏡面反射に起因した交差偏波が発生  
(一般的には  $-30$  dB 程度の交差偏波)
  - ✓ クワイエットゾーン内の振幅特性はよくない



# 4. コンパクトレンズ測定

## 反射鏡の種類 (2)

- 複反射鏡方式
  - ✓ オフセットグレゴリアン、フロントフィードオフセットカセグレンなど様々な方式がある
  - ✓ クワイエットゾーン内の特性が良好
  - ✓ 低交差偏波化が可能 ( $-40$  dB以下の交差偏波)



## 4. コンパクトレンジ測定

---

### 測定時の注意点

- 使用できる周波数に制限がある
  - ✓ メーカー提示の対応周波数範囲内で測定を行う
  - ✓ 一般的には、数百MHz～数百GHz程度まで
- 測定可能なアンテナの大きさに制限がある
  - ✓ メーカー提示のクワイエットゾーンに収まるアンテナが測定可能
  - ✓ クワイエットゾーンに比べて非常に小さい開口径のアンテナを測定する場合も要注意  
(クワイエットゾーン内の電界の振幅分布が測定精度に影響)
- 被測定アンテナはクワイエットゾーン中心付近に極力設置する
  - ✓ クワイエットゾーン端部では電界の振幅・位相分布が大きくなり、測定精度に影響
  - ✓ 被測定アンテナ回転時の動きも考慮

# 目次

---

1. はじめに
2. アンテナの反射特性測定
3. アンテナの遠方界測定
4. コンパクトレンジ測定
5. 平面走査近傍界測定
6. むすび
7. 文献および著者紹介

## 4. 平面走査近傍界測定

---

### 近傍界測定とは [4]

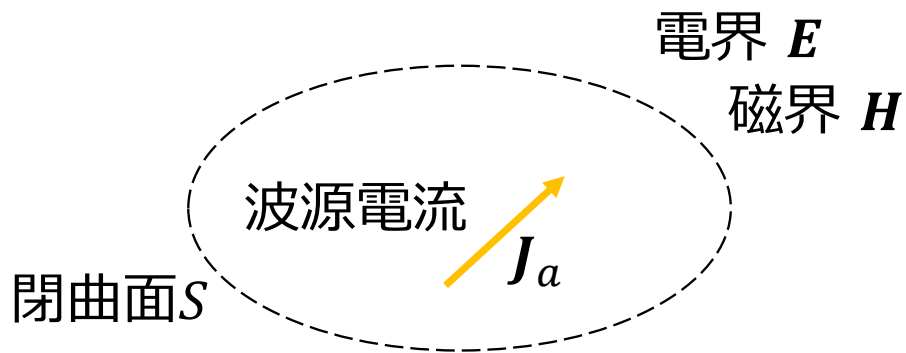
- コンパクトレンジ測定は反射鏡が必要で、測定可能なアンテナサイズに制約がある
- 近傍界測定は反射鏡不要で、短い距離で大型アンテナの測定が可能な測定方法
- 被測定アンテナの近傍界の電界分布を測定し、その結果をフィールド変換処理することにより遠方界を得る
- 測定原理が電磁界理論に基づいており、その理解が必要

# 4. 平面走査近傍界測定

## 近傍界測定の原理 (1)

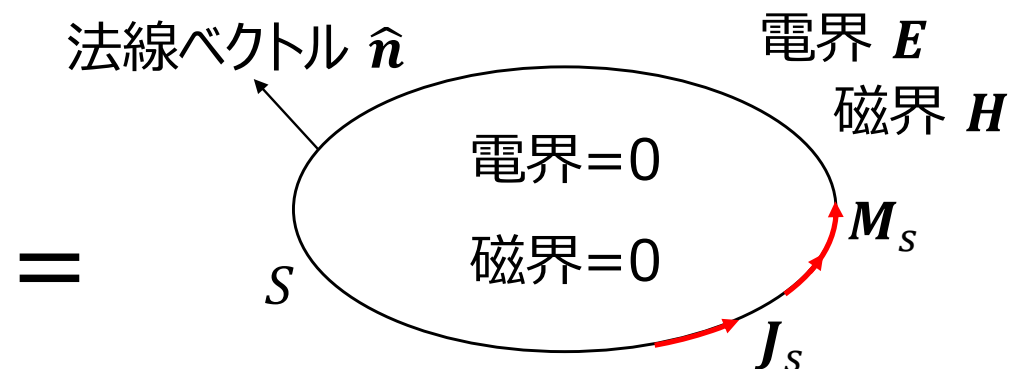
- 等価定理：ある波源からの放射界を求める問題は、波源を内包する閉曲面上の仮想波源による放射界を求める問題と等価 [5]

オリジナル問題



波源を含む閉曲面  $S$  を考える

等価問題 (その1)



閉曲面  $S$  内部の電磁界を0とし、閉局面上に等価波源 ( $J_s, M_s$ ) を設けた問題と等価

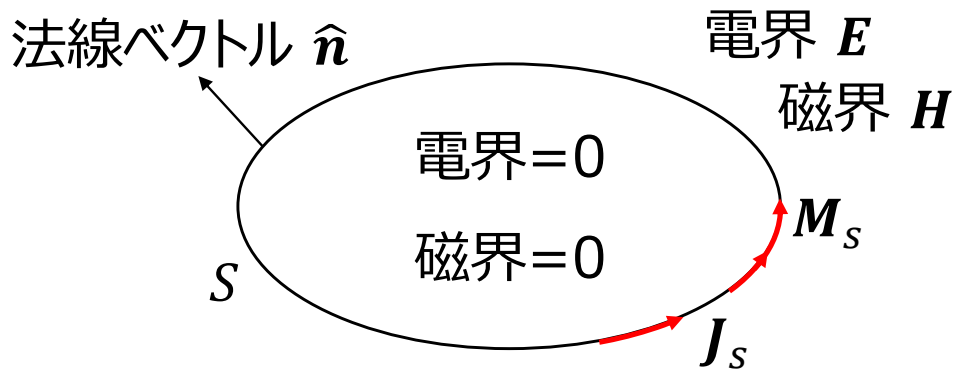
$$J_s = \hat{n} \times H \quad M_s = E \times \hat{n}$$

# 4. 平面走査近傍界測定

## 近傍界測定の原理 (2)

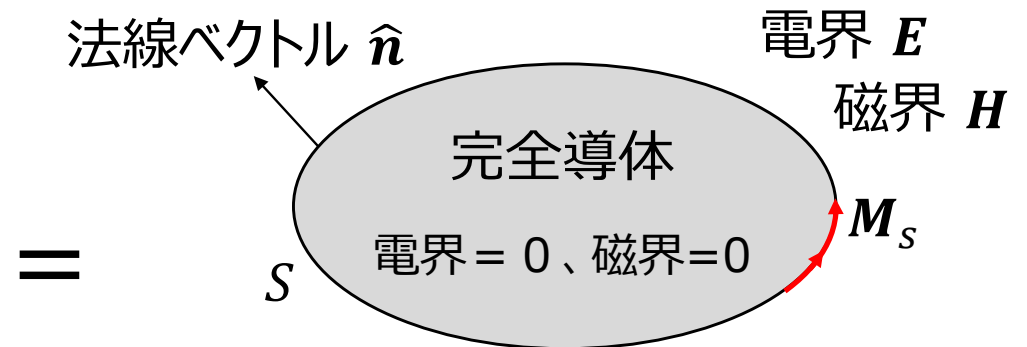
- 等価定理：ある波源からの放射界を求める問題は、波源を内包する閉曲面上の仮想波源による放射界を求める問題と等価 [5]

等価問題 (その1)



$$J_s = \hat{n} \times H$$
$$M_s = E \times \hat{n}$$

等価問題 (その2)



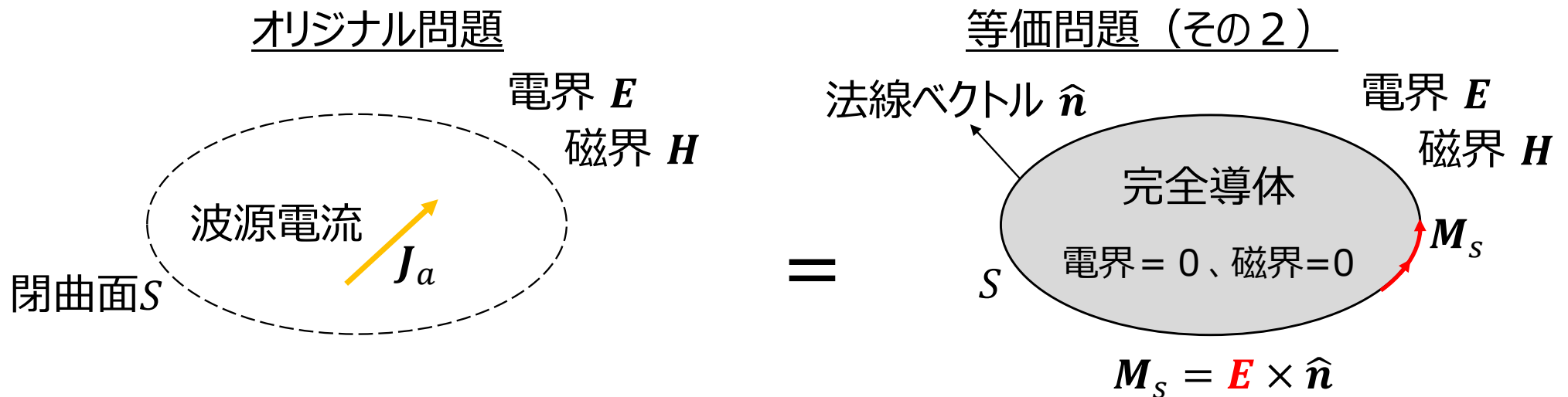
閉曲面 $S$ 内部を完全導体とし、閉局面上の等価磁流源 $M_s$ のみを考慮した問題と等価

※完全導体上の電流は放射しないため

# 4. 平面走査近傍界測定

## 近傍界測定の原理 (3)

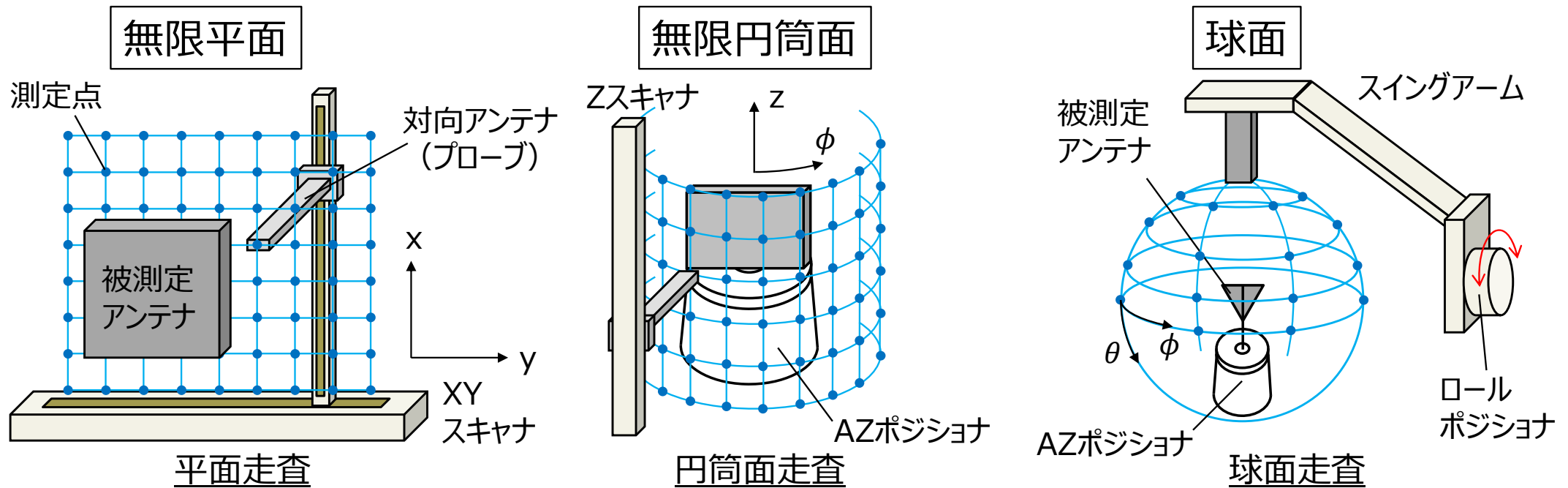
- 近傍界測定は等価問題 (その2) に基づく測定法
- 閉曲面 $S$ 上の電界 $E$ を測定し、その結果から等価磁流 $M_s$ を定め、完全導体上の等価磁流 $M_s$ からの放射を考えることで、元の問題の電磁界を求める



# 4. 平面走査近傍界測定

## 閉曲面の取り方

- 閉曲面 $S$ の取り方の違いによって、3つに大別
- 被測定アンテナの特性や測定したい角度範囲などに合わせて適切に選択



## 4. 平面走査近傍界測定

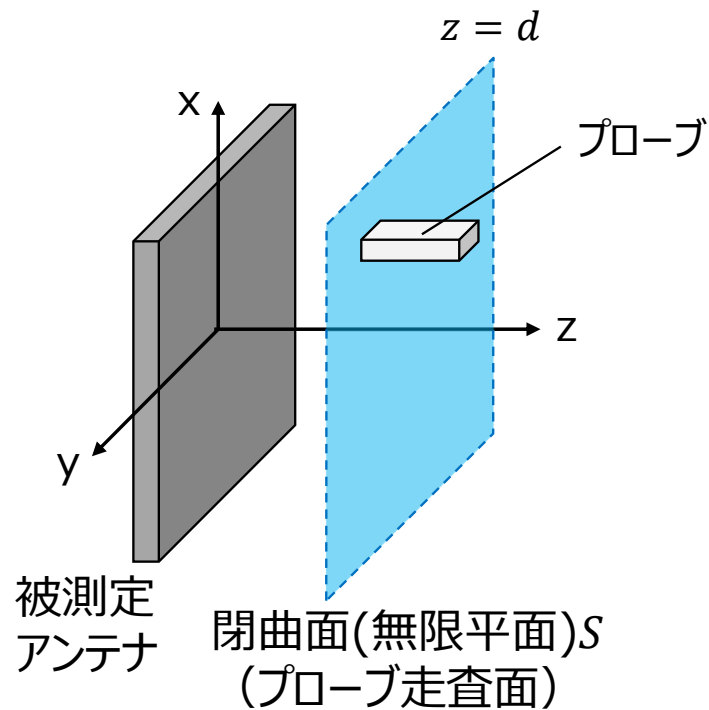
---

### 3つの走査方式の比較 [4]

- 平面走査
  - 被測定アンテナは固定。XYスキャナでプローブを2次元走査
  - 高利得（指向性の鋭い）アンテナの測定に好適
- 円筒面走査
  - 被測定アンテナをAZポジションで回転。Zスキャナでプローブを1次元走査
  - ファンビームなど一方向にビーム幅の広いアンテナの測定に好適（360°測定可能）
- 球面走査
  - 被測定アンテナをAZポジションで回転。スイングアーム+ロールポジションでプローブを回転
  - 全てのアンテナに適用可能。特に、等方的な指向性を有するアンテナの測定に好適

# 4. 平面走査近傍界測定

## 平面走査近傍界測定の理論 (1) [6]-[8]



### 等価定理

被測定アンテナの  $z > d$  の領域における電磁界

=

$z = d$  にある無限地板上の等価磁流による電磁界

イメージ理論を適用

=

$z = d$  にある等価磁流 + イメージ磁流による自由空間中の電磁界

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\mathbf{G}}_{em} \cdot 2\mathbf{M}_s dx dy$$

$\overline{\mathbf{G}}_{em}$  : 自由空間のダイアディックグリーン関数 (既知)

## 4. 平面走査近傍界測定

### 平面走査近傍界測定の理論 (2) [6]-[8]

- 電界を様々な方向に伝搬する平面波の足し合わせで表現

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{b}(\mathbf{k}_t) e^{-j\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}} dk_x dk_y$$

- $\mathbf{b}(\mathbf{k}_t)$ は各平面波の重みで、平面波スペクトラムと呼ぶ

$$\text{平面波スペクトラム : } \mathbf{b}(\mathbf{k}_t) = \frac{1}{\kappa_0} [b_x(\mathbf{k}_t)(\hat{\mathbf{y}} \times \mathbf{k}) - b_y(\mathbf{k}_t)(\hat{\mathbf{x}} \times \mathbf{k})]$$

ただし、 $\mathbf{k} = \mathbf{k}_t + \kappa_0 \hat{\mathbf{z}} = k_x \hat{\mathbf{x}} + k_y \hat{\mathbf{y}} + \kappa_0 \hat{\mathbf{z}}$ 、 $\kappa_0^2 = k_0^2 - k_x^2 - k_y^2$ 、 $\mathbf{r} = \mathbf{r}_t + z \hat{\mathbf{z}}$

$$b_x(\mathbf{k}_t) = \frac{e^{j\kappa_0 d}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_{x0} e^{j\mathbf{k}_t \cdot \mathbf{r}_t} dx dy \quad b_y(\mathbf{k}_t) = \frac{e^{j\kappa_0 d}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_{y0} e^{j\mathbf{k}_t \cdot \mathbf{r}_t} dx dy$$

$z = d$ で測定した電界のフーリエ変換

## 4. 平面走査近傍界測定

### 平面走査近傍界測定の理論 (3) [6]-[8]

$z > d$ の任意の観測点における電界

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{b}(\mathbf{k}_t) e^{-j\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}} dk_x dk_y$$

観測点 :  $\mathbf{r} = R \sin \theta \cos \phi \hat{x} + R \sin \theta \sin \phi \hat{y} + R \cos \theta \hat{z}$



観測点を無限遠 ( $R \rightarrow \infty$ ) として、波数の無限積分を漸近展開

遠方界における電界

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) \approx jk_0 \cos \theta \frac{e^{-jk_0 R}}{R} \mathbf{b}(k_x, k_y)$$

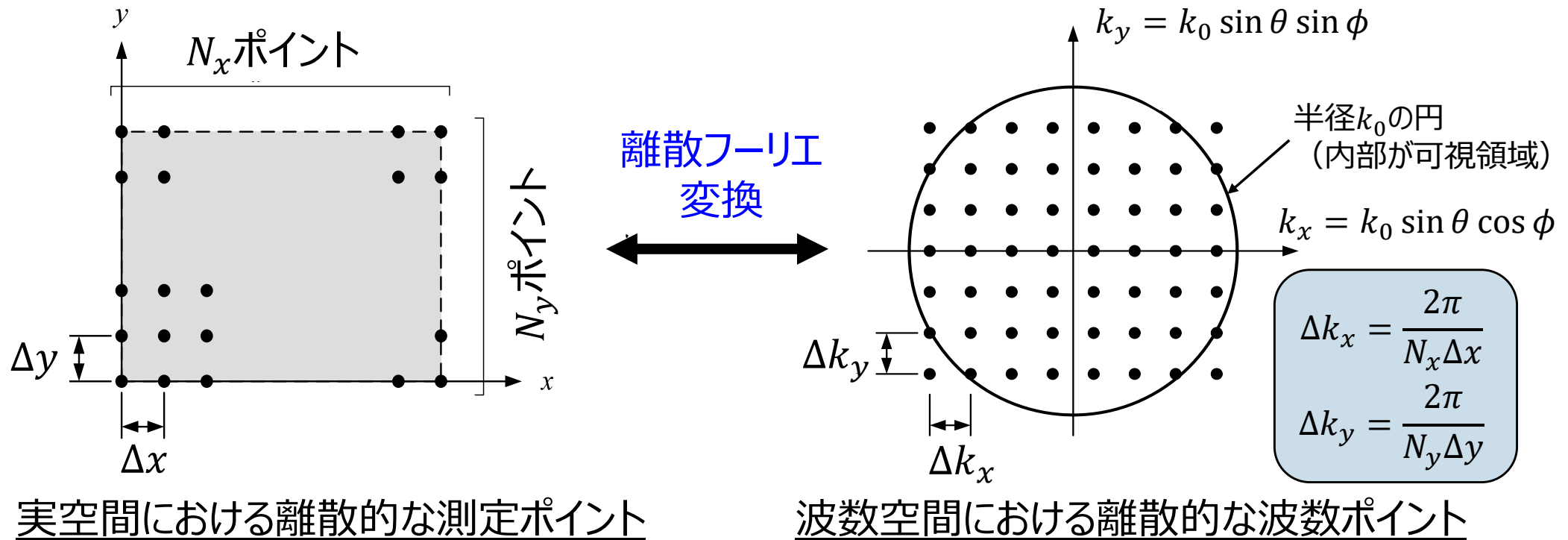
$$k_x = k_0 \sin \theta \cos \phi, \quad k_y = k_0 \sin \theta \sin \phi$$

遠方界の電界は  
平面波スペクトラムそのもの

# 4. 平面走査近傍界測定

## サンプリング間隔／測定範囲（1）

- 有限平面上で離散的な電界測定⇒離散フーリエ変換で平面波スペクトラムを求める



## 4. 平面走査近傍界測定

---

### サンプリング間隔／測定範囲（2） [4]

- 可視領域内を評価するためのサンプリング間隔

$$\Delta x, \Delta y \leq \frac{\lambda}{2}$$

- 有限角度範囲内のみを評価するためのサンプリング間隔

$$\Delta x, \Delta y \leq \frac{\lambda}{1 + \sin \theta_v}$$

- 測定範囲は、経験的に、測定範囲端部でピークから少なくとも  $-30$  dB（できれば  $-40$  dB）となる範囲。事前に測定範囲の影響を評価しておくこと

## 4. 平面走査近傍界測定

---

### プローブ補正

- 先述の理論では点波源のプローブを仮定。実際は有限開口のプローブ（一般的に、導波管開口）を利用
- 電界の測定値にはプローブの指向性の影響が含まれるため、これを除去／補正する必要がある  
⇒プローブ補正
- 遠方界放射パターンが既知のプローブを使用し、当該プローブの平面波スペクトラムと測定によって得られた平面波スペクトラムから、求めたい電界の平面波スペクトラムを求める  
（詳細は[4]を参照）

## 4. 平面走査近傍界測定

---

### 測定の流れ

- ① 測定範囲とサンプリング間隔を決定
- ② 近傍電界の測定
- ③ 平面波スペクトラムの算出（②の離散フーリエ変換）
- ④ プローブ補正
- （⑤任意の観測点での電界を求めるにはさらに④を離散フーリエ変換）

## 4. 平面走査近傍界測定

---

### 測定時の注意点

- 測定範囲の有限性による誤差
  - ✓ 経験的に、ピークから少なくとも  $-30$  dB低下する範囲まで
  - ✓ 事前にシミュレーション／測定などで影響を評価
- 送受信間の多重反射
  - ✓ プロブの周囲に電波吸収体を設置
- ケーブルの通過位相変動
  - ✓ プロブ走査によりケーブルが動き、位相変動が発生する
  - ✓ プロブの根元でIF帯にダウンコンバートし、ケーブル動きによる位相変動を低減

## 4. 平面走査近傍界測定

---

### 測定時の注意点（つづき）

- 時間変動
  - ✓ 近傍界測定は長時間を要するため、測定器の時間変動誤差に注意
  - ✓ 一定時間間隔で参照点を再測定し、データを補正
- プロブ走査面のずれ
  - ✓ プロブの走査面のずれは位相誤差に直結するため、正しくアライメントを取る

## 4. 平面走査近傍界測定

### コンパクトレンジ測定との比較

	コンパクトレンジ	平面走査近傍界測定
長所	<ul style="list-style-type: none"><li>• 遠方界測定と同じ測定手順</li><li>• 測定時間短い</li><li>• 通常、位相測定不要</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 測定距離が短い</li><li>• 反射鏡が不要</li><li>• 被測定アンテナを固定した測定が可能</li></ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"><li>• 反射鏡起因で、測定周波数やアンテナ開口サイズに制約</li><li>• アンテナを回転させる必要がある（重量制限に）</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 位相測定が必須</li><li>• スキャナが必要</li><li>• 測定時間が長時間</li><li>• フィールド変換処理が必要</li></ul>

# 目次

---

1. はじめに
2. アンテナの反射特性測定
3. アンテナの遠方界測定
4. コンパクトレンジ測定
5. 平面走査近傍界測定
6. むすび
7. 文献および著者紹介

# 5. むすび

---

## アンテナ測定的心構え

- アンテナの性能／特性を正確に測定するため、各測定方法の原理や固有の制約などを理解して測定してください
- 測定装置が高価なものが多いです。測定装置、備品の使い方を守り、故障／破損を起こさないよう注意してください
- アンテナは電磁波を放射するため、適切な環境で測定を行ってください
- 測定には誤差がつきもの。その原因を正しく分析することが重要
- トラブル時には測定を中断し、周りの習熟者にアドバイスを求める

## 6. 文献および著者紹介

---

- [1] 石井 望, アンテナ基本測定法, コロナ社, 東京, 2012.
- [2] アンテナ工学ハンドブック第2版, 電子情報通信学会 (編) , オーム社, 東京, 2008.
- [3] "IEEE Recommended Practice for Antenna Measurements," in IEEE Std 149-2021 (Revision of IEEE Std 149-1977) , 2022.
- [4] "IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements," in IEEE Std 1720-2012, 2012.
- [5] Roger F. Harrington, Time-Harmonic Electromagnetic Fields, IEEE, 2001.
- [6] R. E. Collin, Field Theory of Guided Waves, 2nd Ed., IEEE Press, 1991.
- [7] Y. Yamaguchi, H. Miyashita, I. Chiba, and S. Egashira, "A general construction method of dyadic Green's function for plane-stratified media in uniform open or closed waveguide of separable cross-sections," IEICE Trans. B, Vol. J80-B-II, No.5, pp.406-415, May 1997.
- [8] L. B. Felsen and N. Marcuvitz, Radiation and Scattering of Waves, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1973.

- 中本 成洋 三菱電機株式会社 シニアエキスパート, Nakamoto.Narihiro@ap.MitsubishiElectric.co.jp