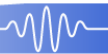


アンテナ製作実験

電気電子工学実験第2
選択実験

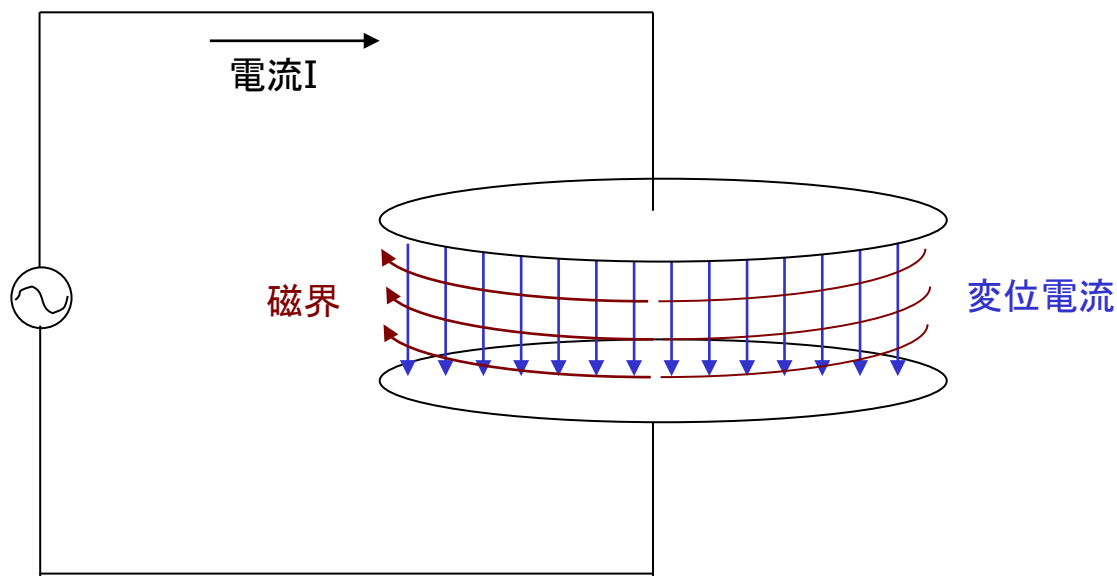
アンテナ

- 高周波数の電源が接続された導線では電子は振動している
- 電磁波を放射、受信するのをアンテナ(antenna)と呼ぶ
- アンテナの語源は昆虫の触角俗称「feelers」
専門語では「antenna (antennae)」または鹿の角「antler」から由来していると言われる



アンテナとは？

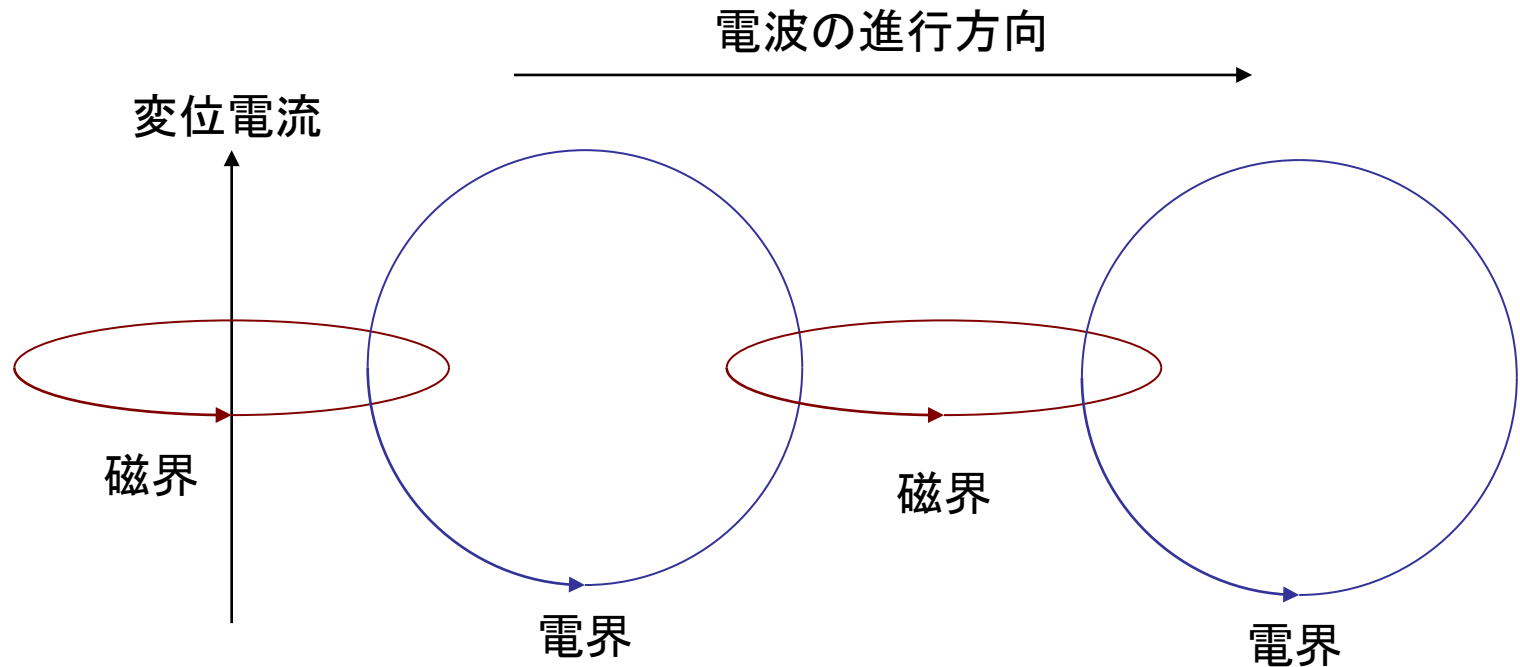
- コンデンサに交流を流すと

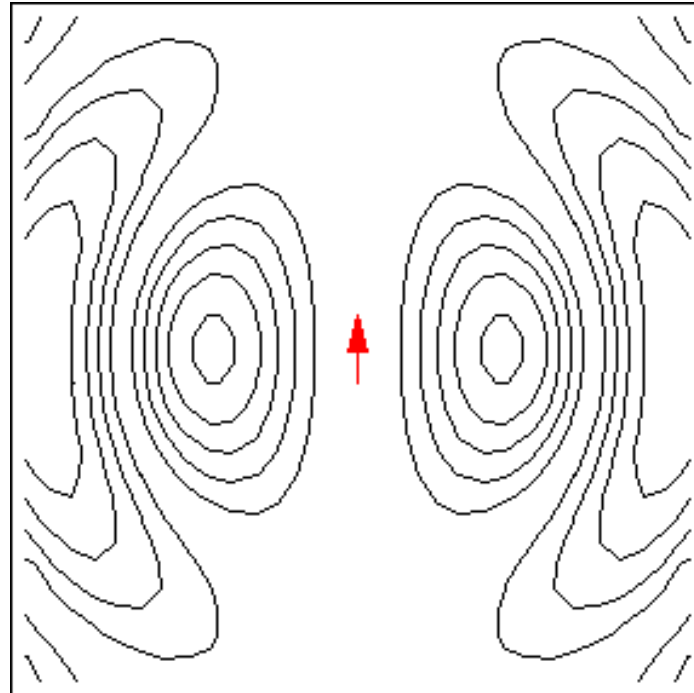


電流が流れているわけではないが電界が変化

⇒ 電流が流れているのと同じ = 変位電流

■ 変位電流の変化

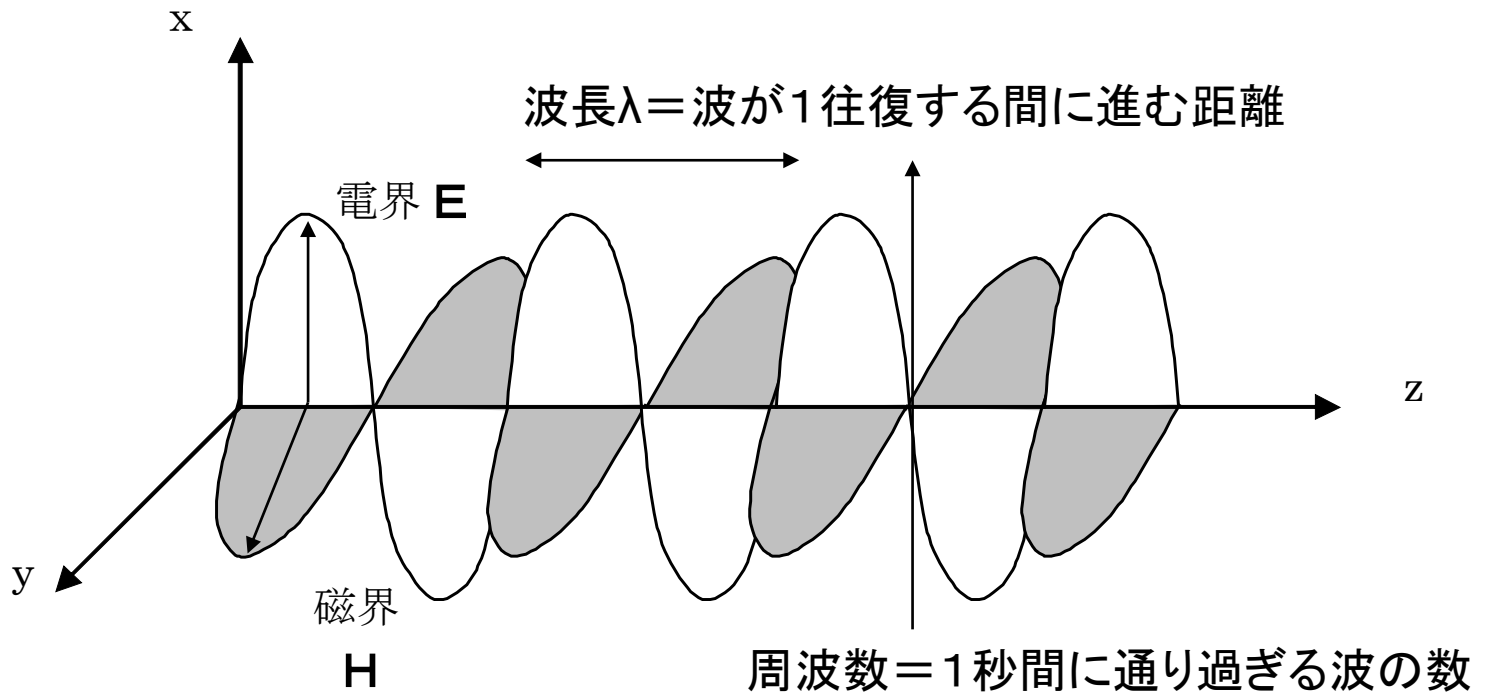




微小波元からの電気力線

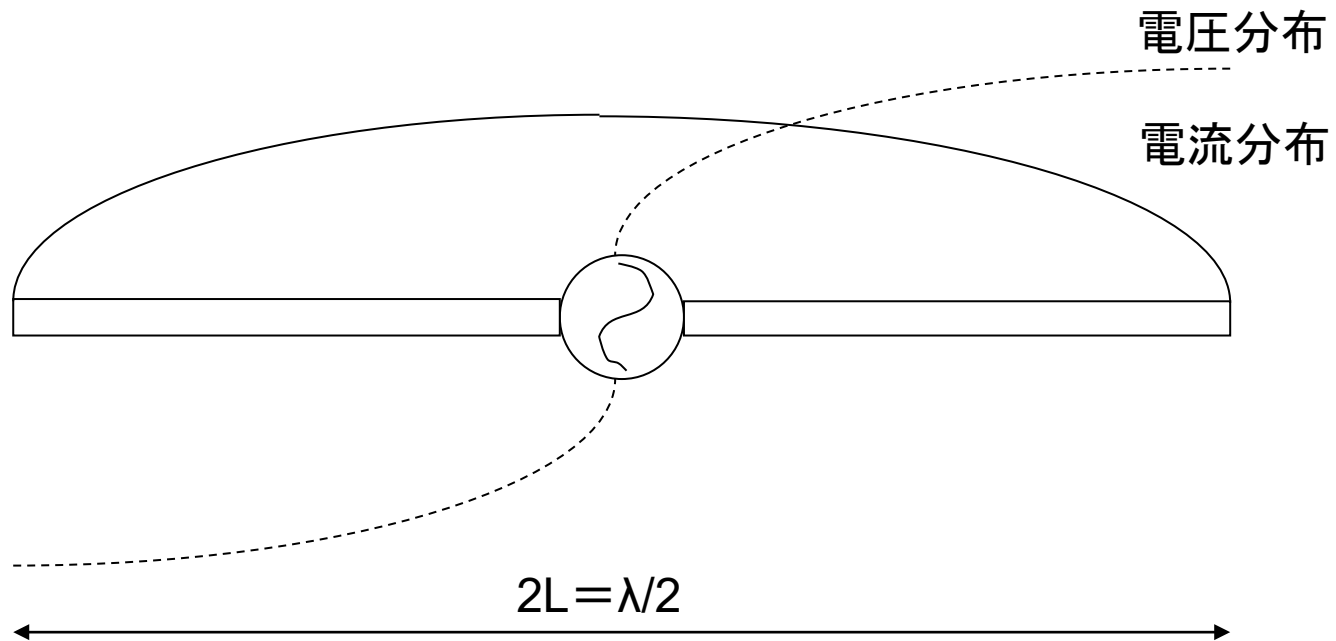
電波の周波数, 波長

- アンテナから放射された電波は波として伝わっていく

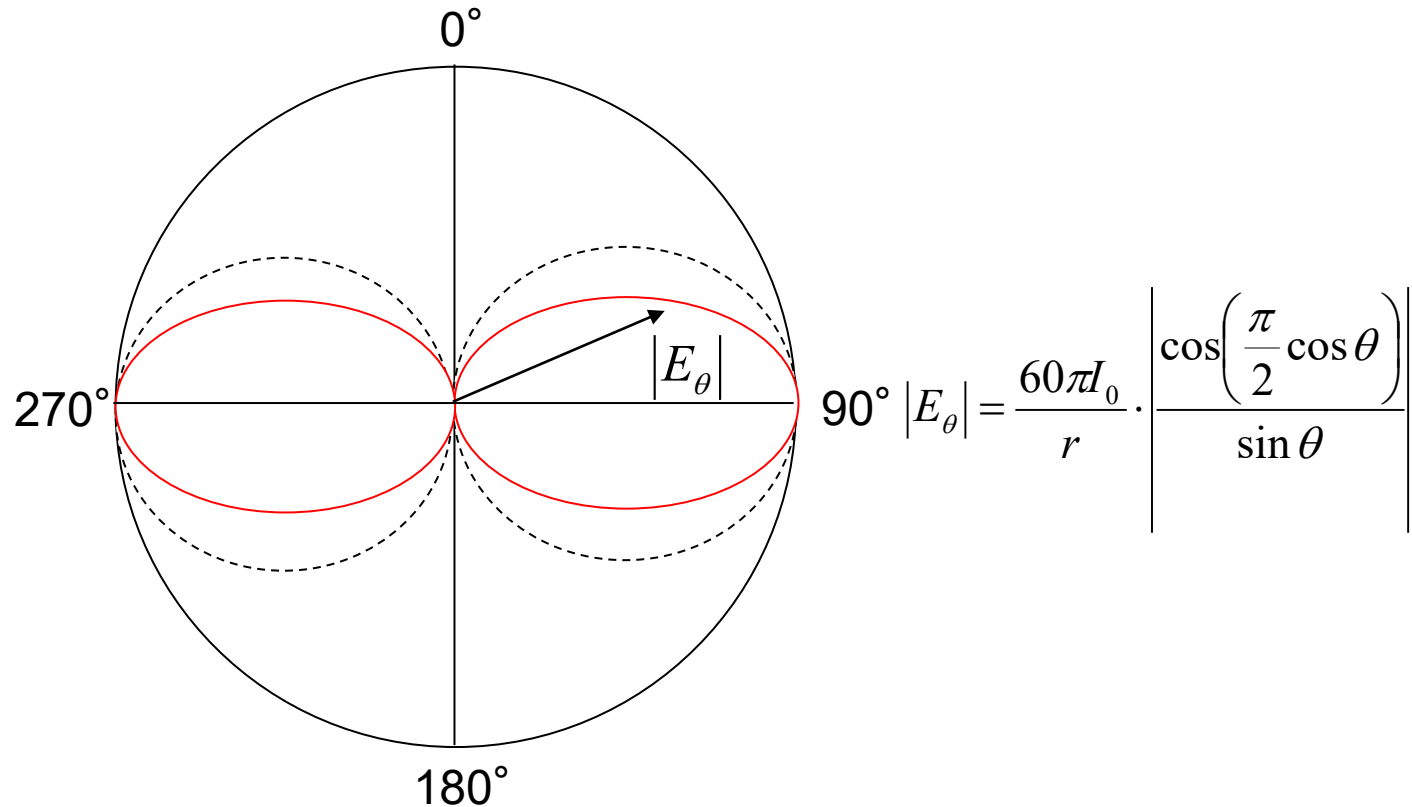


半波長ダイポールアンテナ

- 長さ $2L$ が $1/2$ 波長となるアンテナ



半波長ダイポールアンテナの指向性

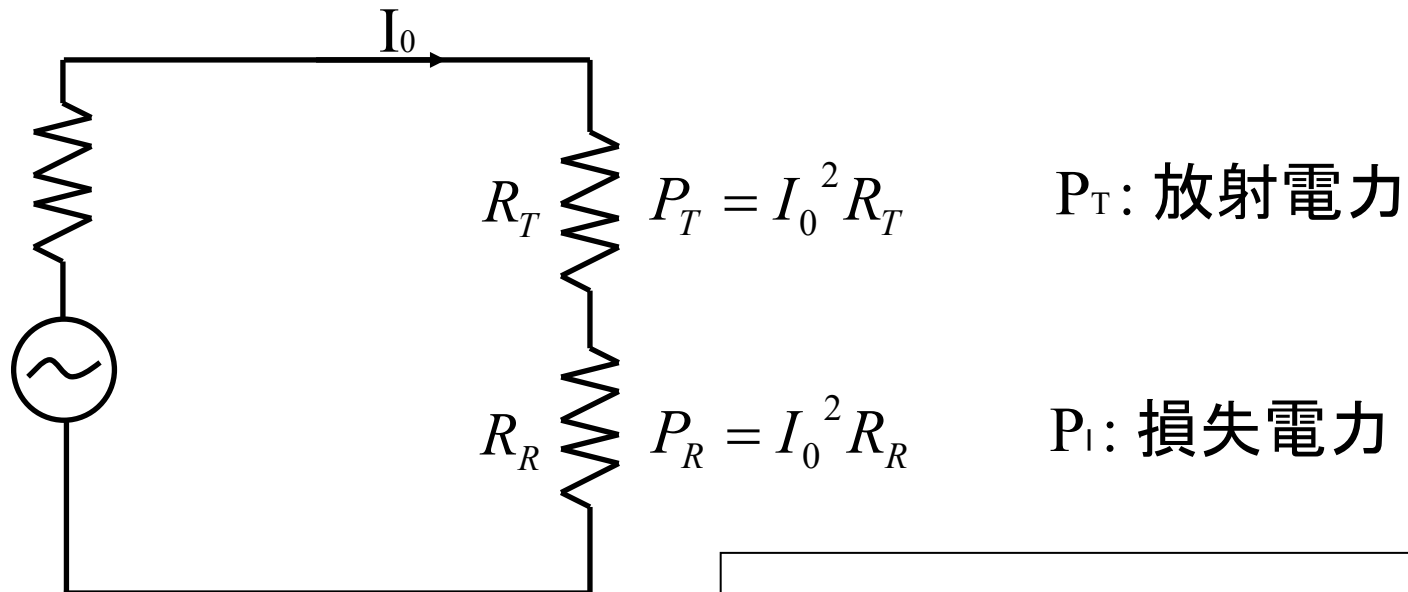


半波長アンテナの垂直指向性

共振状態アンテナの負荷抵抗

$$Z_L = R_L \quad \text{負荷抵抗}$$

$$R_L = R_T + R_R \quad \text{負荷抵抗} = \text{放射抵抗} + \text{損失抵抗 (熱損失)}$$

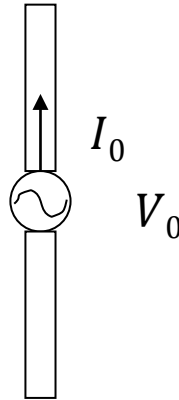


$$\text{放射効率 } \eta = \frac{R_T}{R_T + R_R}$$

アンテナのインピーダンス

- V_0 の電源を接続したアンテナの端子の電流を I_0 とするとインピーダンスは

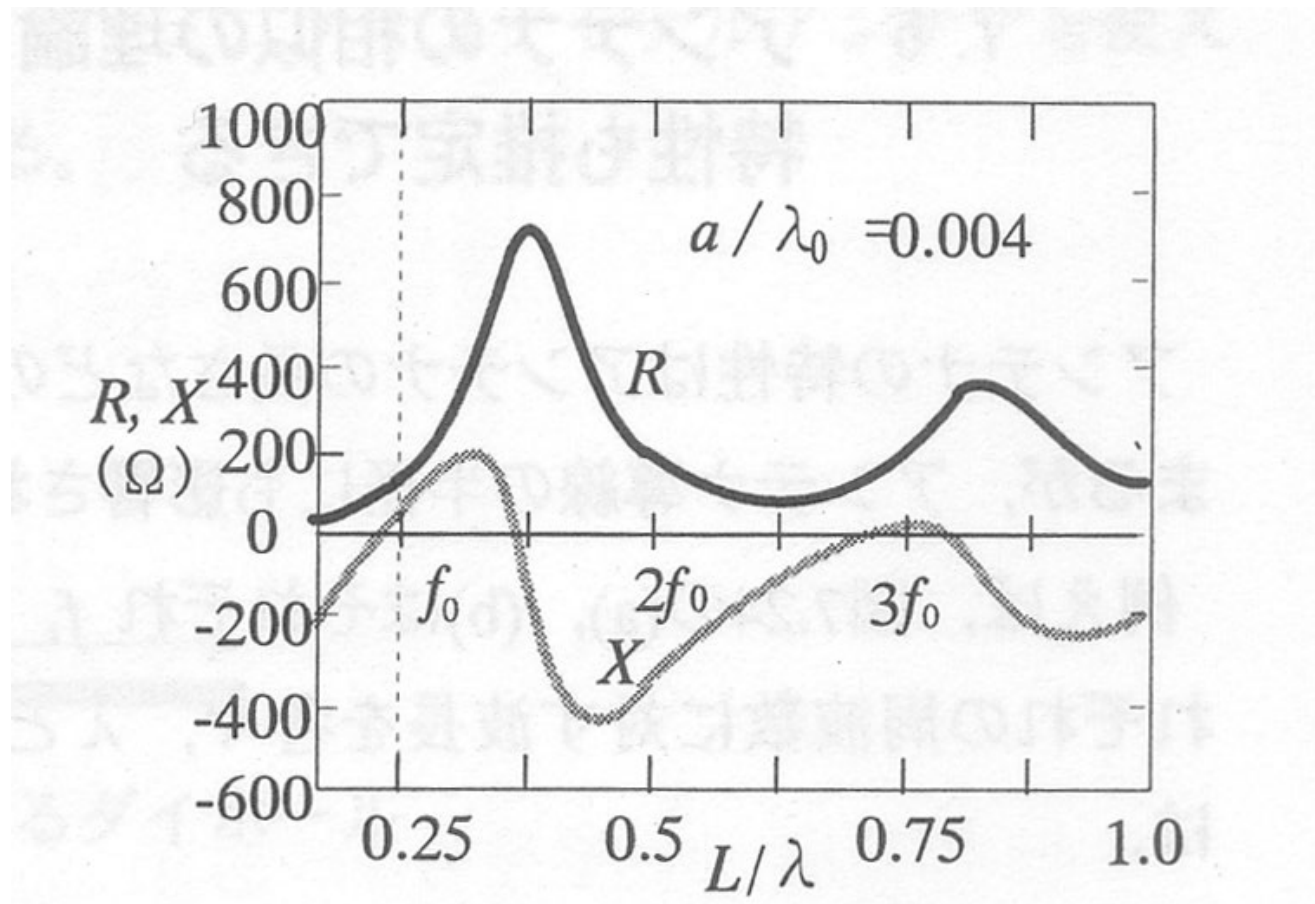
$$Z_{in} = \frac{V_0}{I_0}$$



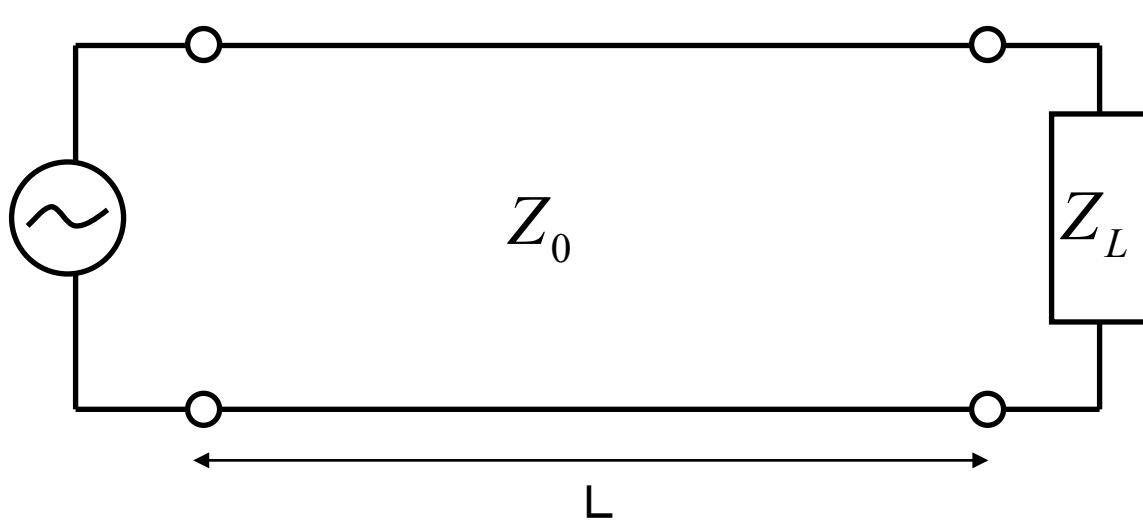
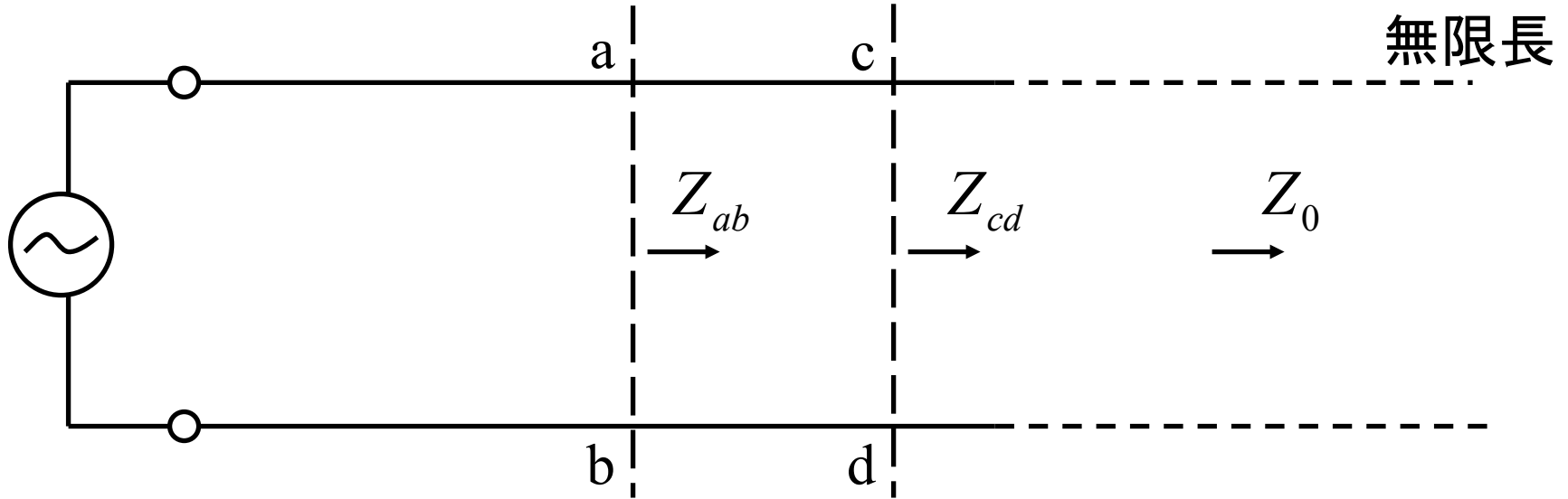
アンテナの電流分布を正確に求めることは困難
モーメント法, 伝送線路近似などで求める



ダイポールアンテナのインピーダンス特性



伝送線路



$$Z_{ab} = Z_{cd} = Z_0$$

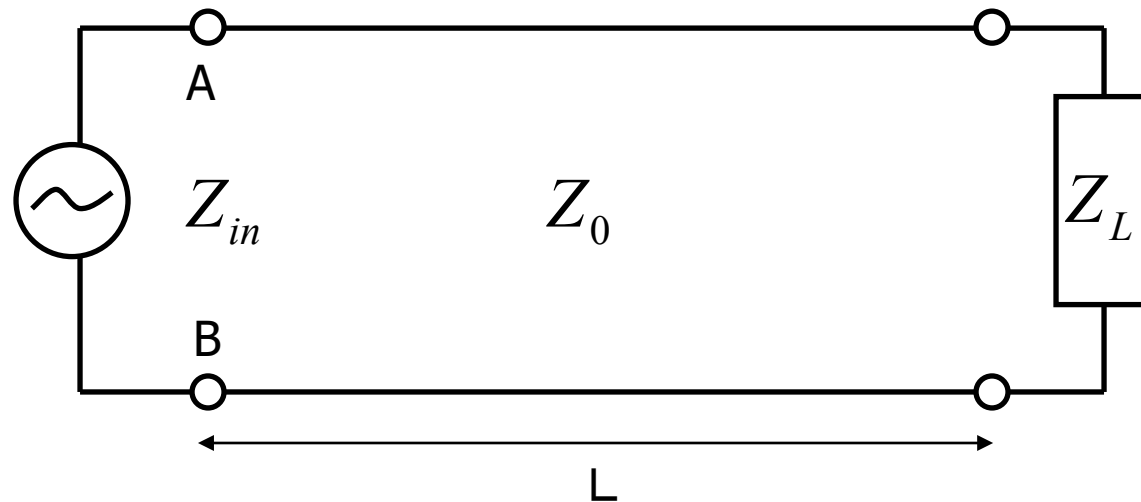
特性インピーダンス

伝送線路近似

- 端子AB間のインピーダンスは

$$Z_{in} = \frac{V}{I} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan kL}{Z_0 + jZ_L \tan kL}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

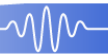


- 先端に R_L の抵抗を接続した長さが L の伝送線路で近似.
イピーダンスは無損失線路($R_R = 0$)の基礎方程式から

$$\begin{aligned} Z_{in} &= \frac{V}{I} = R_{in} + jX_{in} \\ &= Z_0 \frac{R_L + jZ_0 \tan kL}{Z_0 + jR_L \tan kL} \end{aligned}$$

$$R_{in} = \frac{1 + \tan^2 kL}{Z_0^2 + R_L^2 \tan^2 kL} Z_0^2 R_L$$

$$X_{in} = \frac{(Z_0^2 - R_L^2) \tan kL}{Z_0^2 + R_L^2 \tan^2 kL} Z_0^2 R_L$$



- 半波長ダイポールは $L = \lambda/4$

$$\tan kL = \infty$$

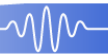
- このとき入力インピーダンスは

$$R_{in} = \frac{Z_0^2}{R_L}$$

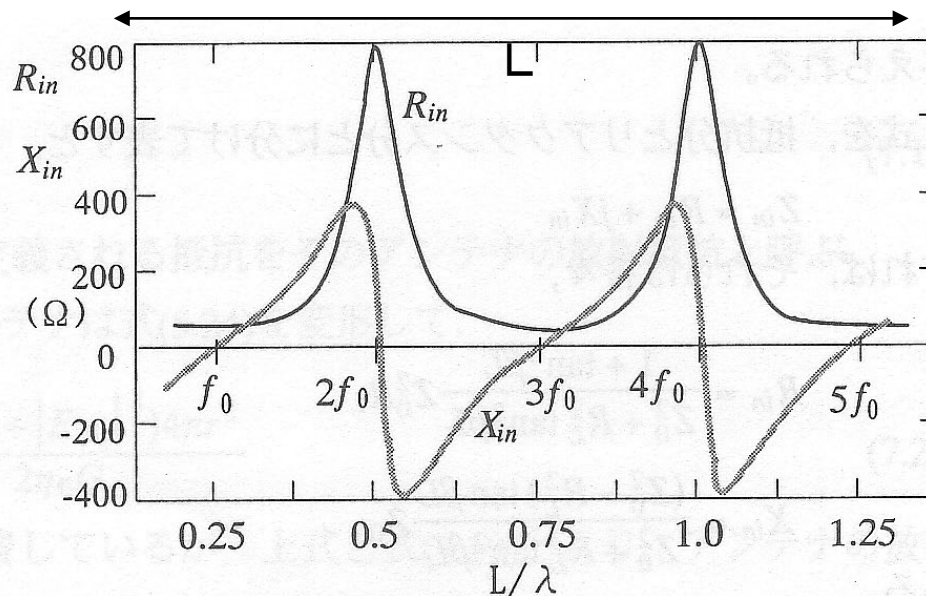
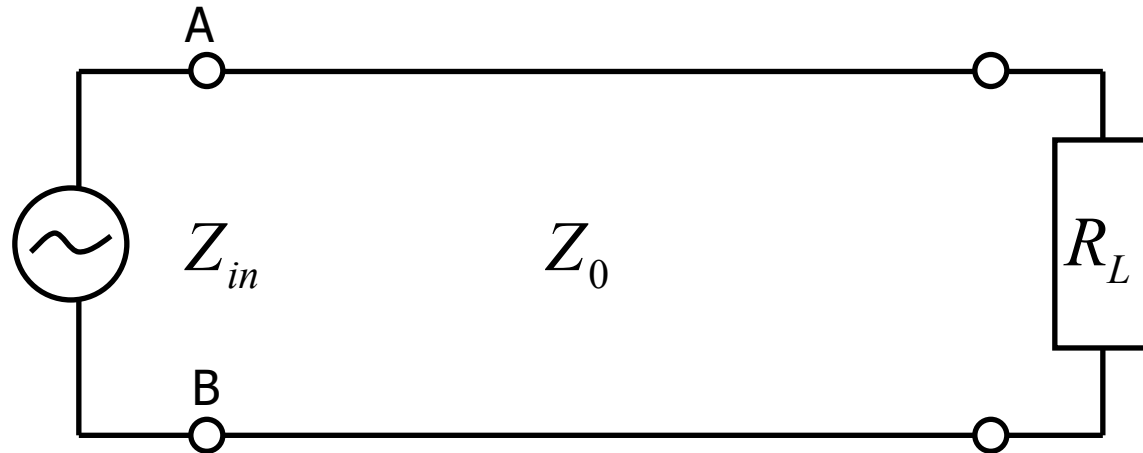
$$X_{in} = 0$$

- R_{in} はアンテナの放射抵抗に相当. $R_{in} = 73.1\Omega$ のとき伝送線路のインピーダンスはダイポールアンテナのインピーダンスに近くなる. よって R_L

$$R_L = \frac{Z_0^2}{73.13}$$



ダイポールアンテナの伝送線路近似特性

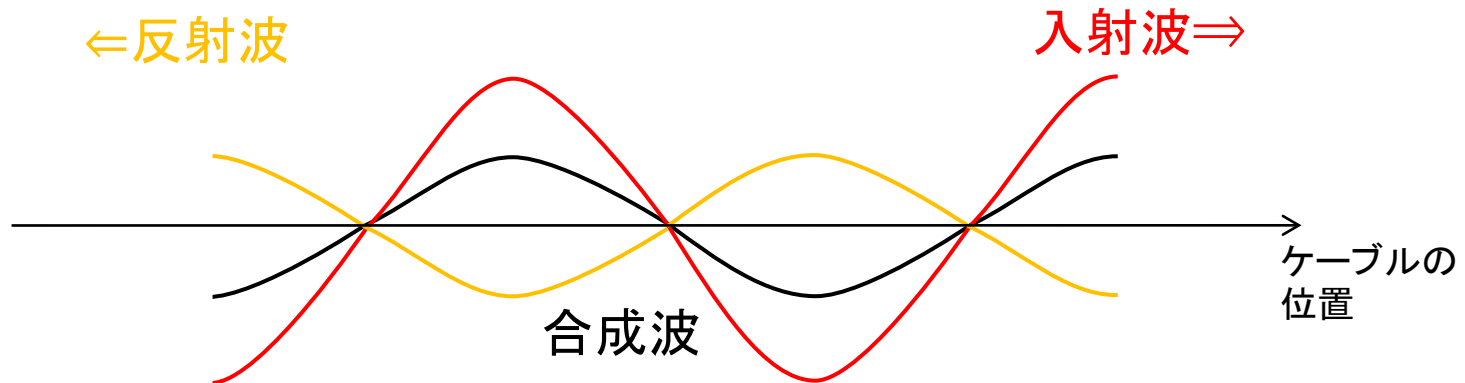


定在波

- 給電線の特性インピーダンスと接続した負荷のインピーダンスが異なると反射波が生じる.
- 進行波と反射波の合成が定在波

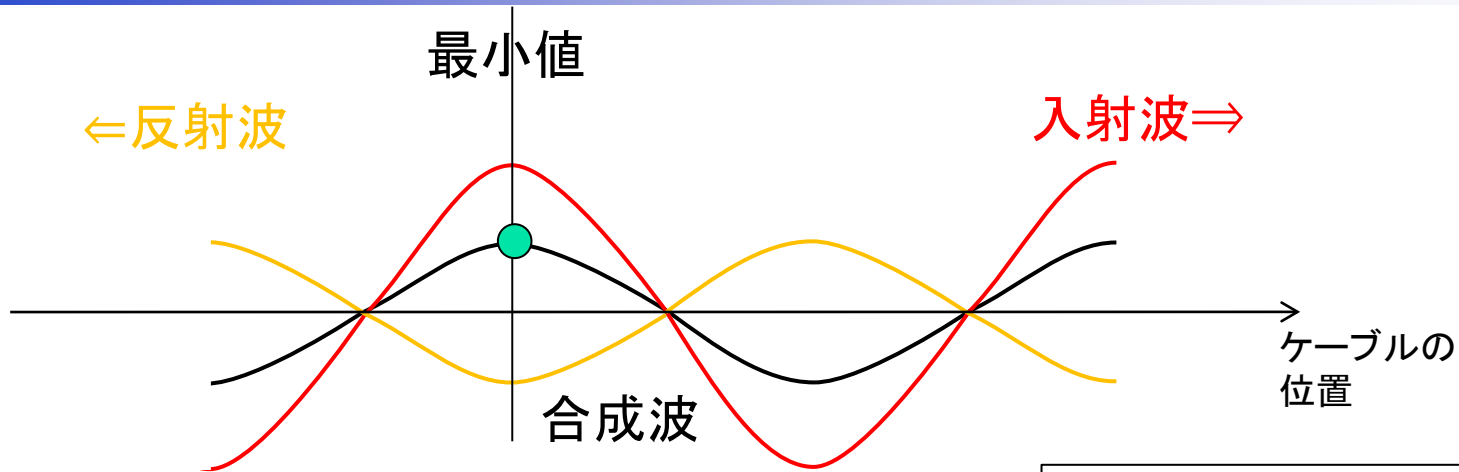
←送信機

アンテナ(負荷抵抗)→

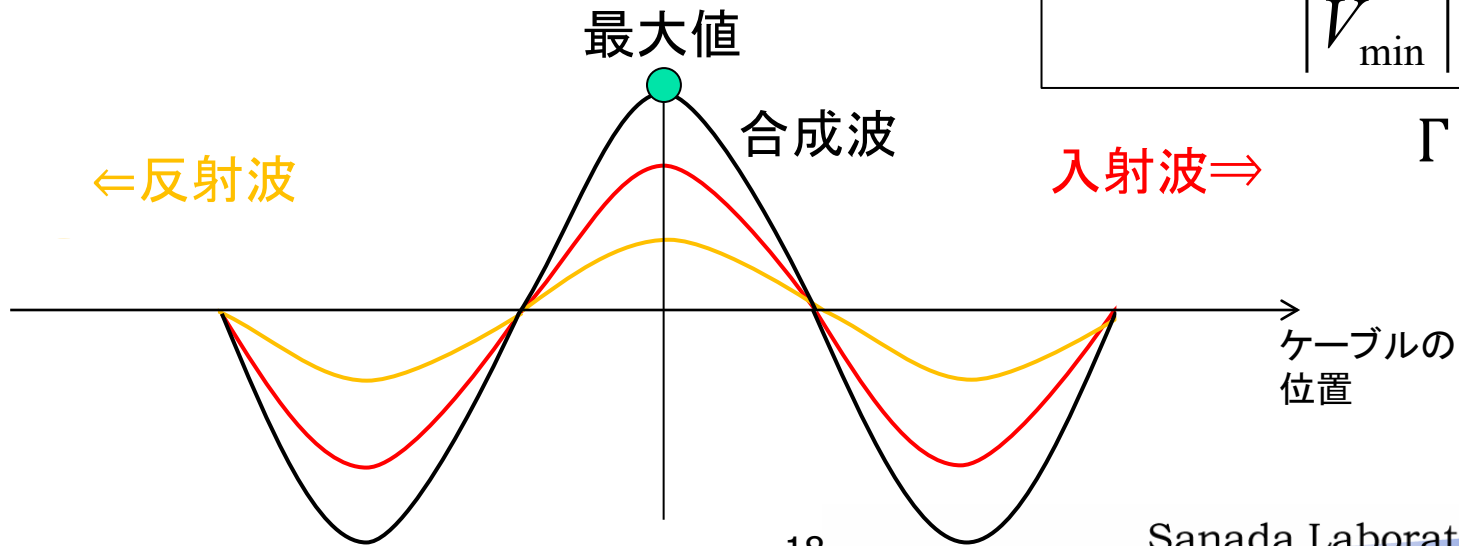


電圧定在波比

(Voltage Standing Wave Ratio: VSWR)



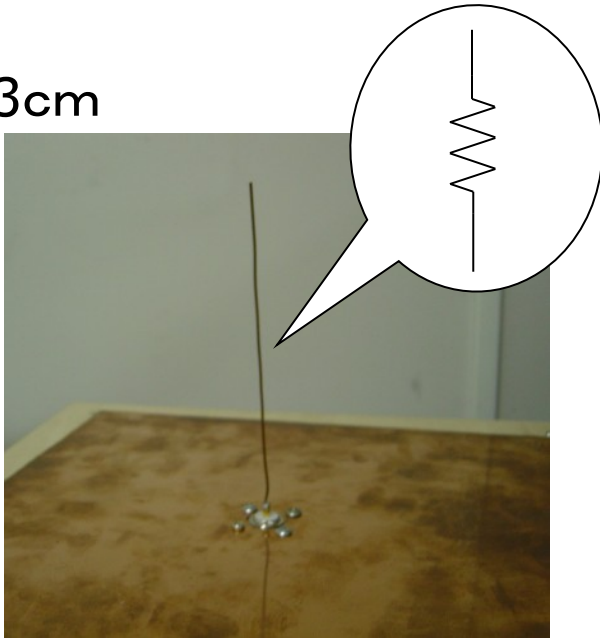
$$VSWR = \left| \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right| = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$



Γ : 反射係数

VSWRの例

13cm



モノポールアンテナ

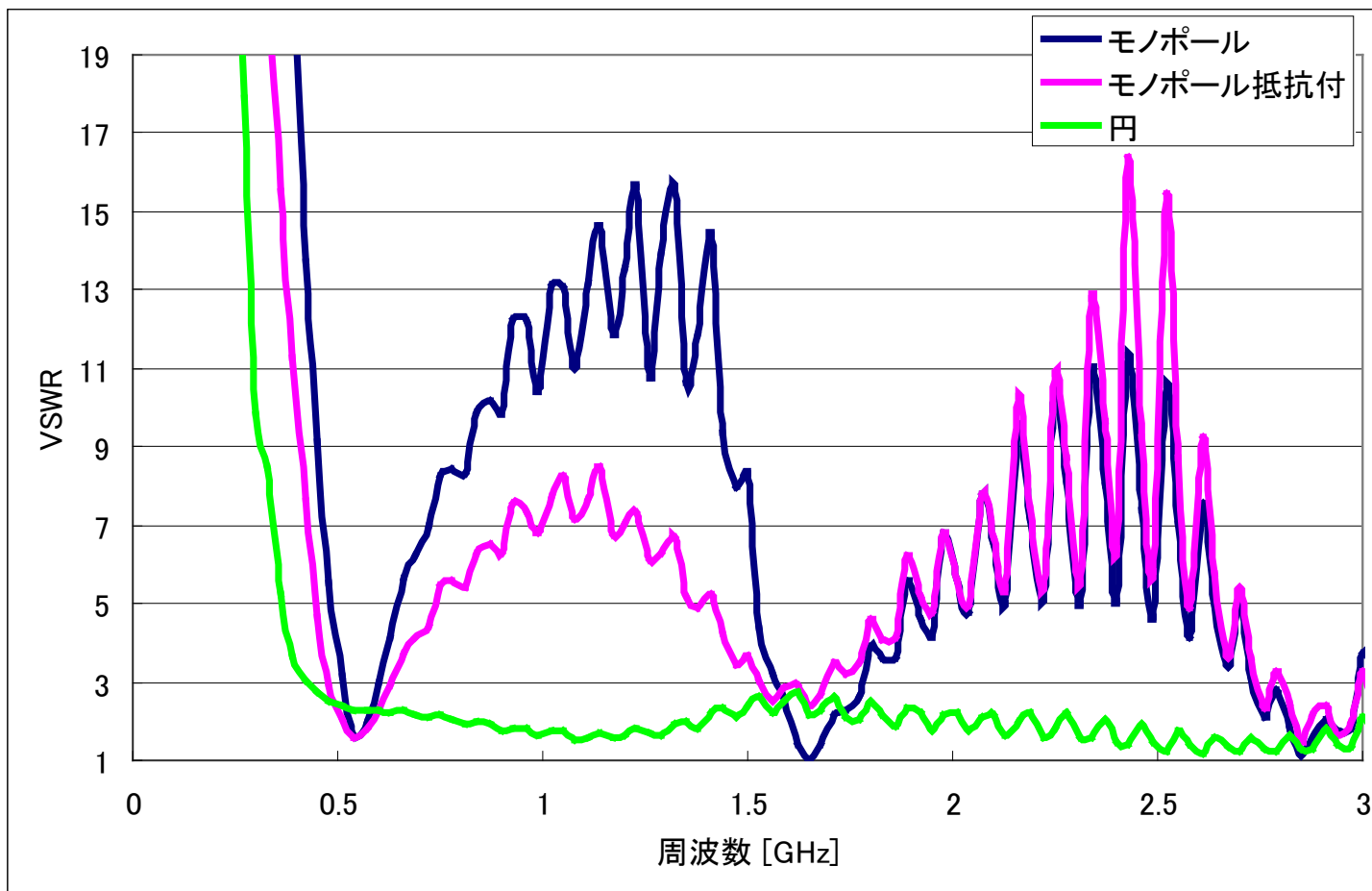
直径: 12cm



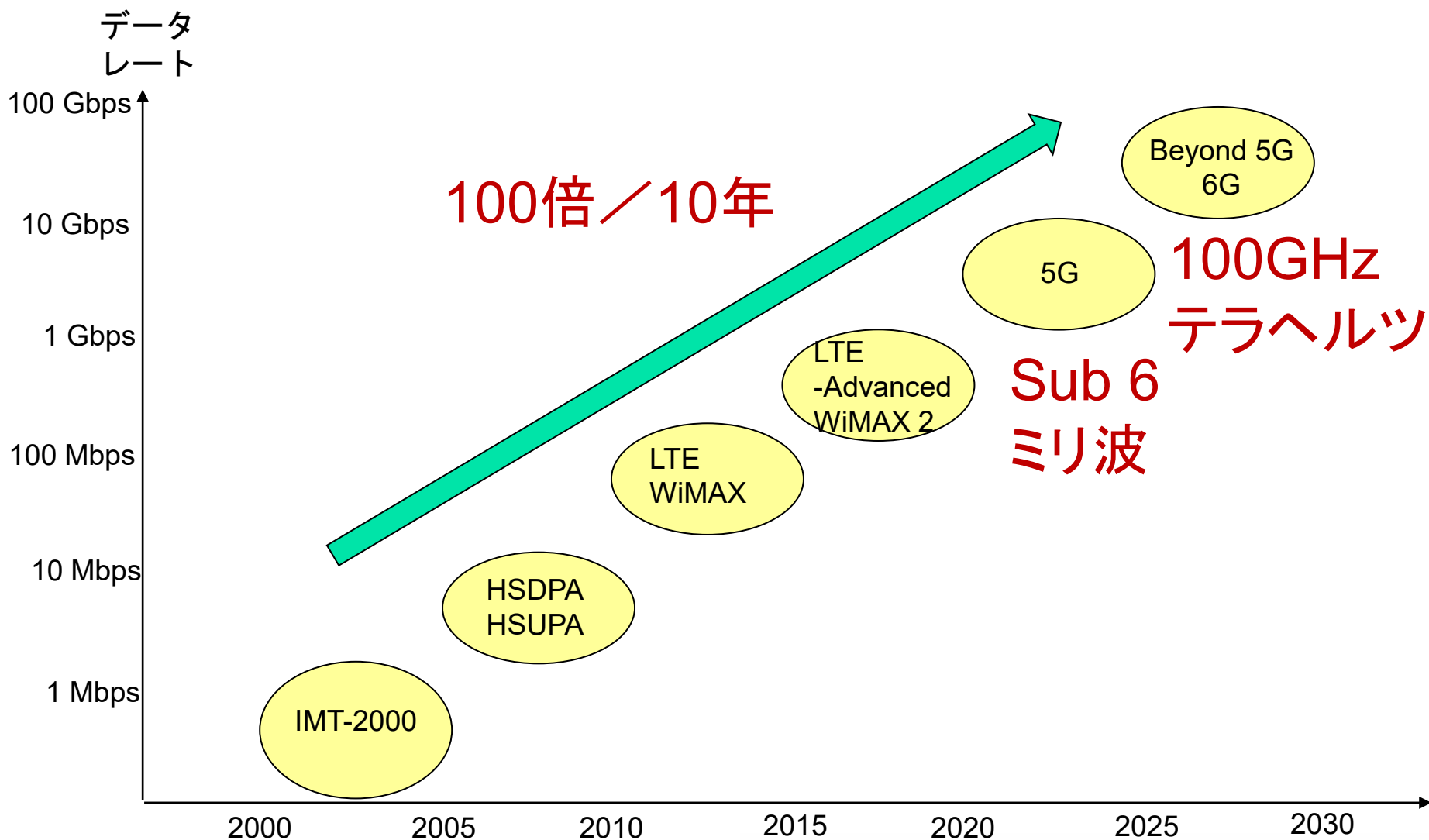
円形アンテナ



VSWR (測定値)

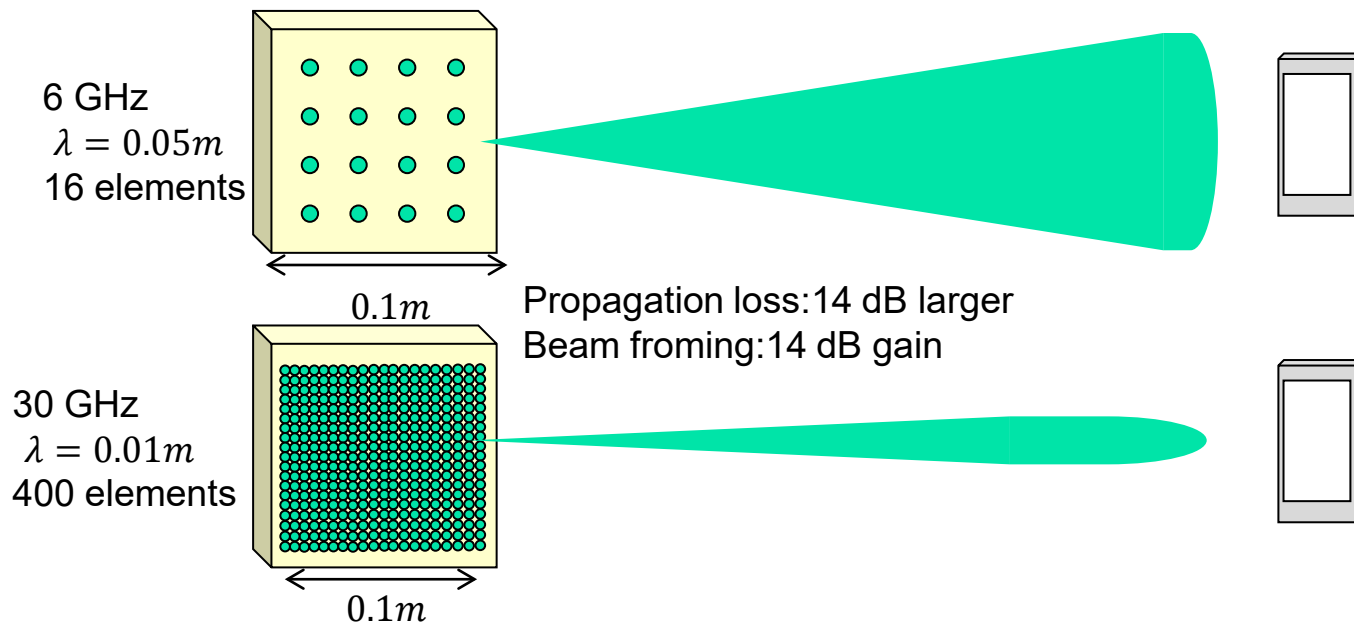


携帯電話の発展

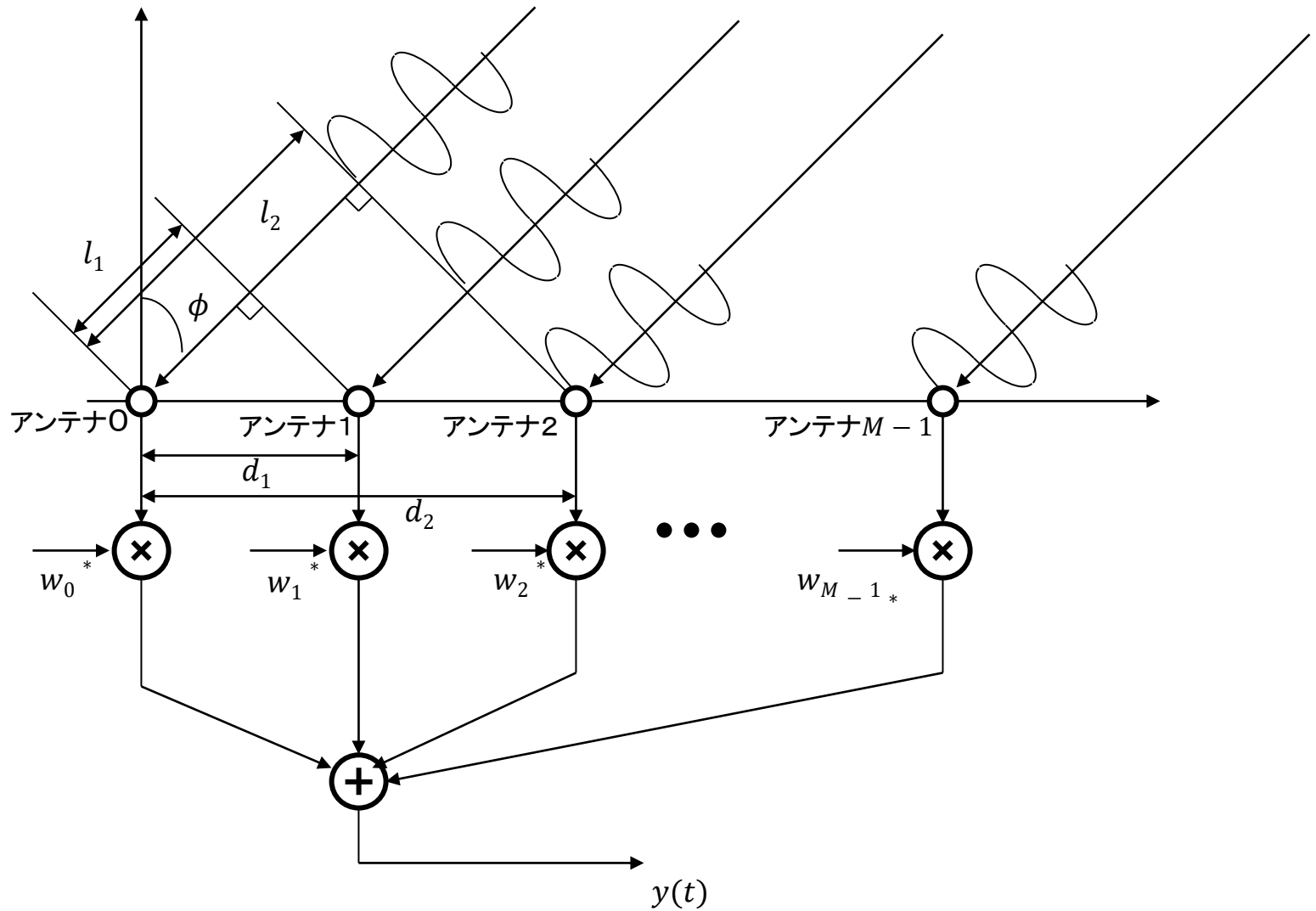


超多素子アンテナによるMassive MIMO

- 高周波数帯の利用
 - 高い伝搬損失
- 超多素子アンテナ
 - アナログもしくはデジタルビームフォーミング
 - 伝搬損失を補償



アレーアンテナの数式表現



- アンテナ0での受信信号

$$v_0(t) = s(t) \exp(j\omega_c t)$$

$$\begin{aligned} v_0(t) &= \sqrt{P}m_I \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{P}m_Q \sin(2\pi f_c t) \\ &= \operatorname{Re}\{\sqrt{P}(m_I + jm_Q)(\cos(2\pi f_c t) + j\sin(2\pi f_c t))\} \\ &= \operatorname{Re}\{s(t) \exp(j2\pi f_c t)\} = \operatorname{Re}\{s(t) \exp(j\omega_c t)\} \end{aligned}$$

アンテナ0とアンテナ1の行路差は

$$l_1(t) = -d_1 \sin(\phi)$$

この行路差による到来時間差は

$$\tau = l_1/c = 2\pi l_1/\omega_c \lambda$$

ここで c は光速, λ はキャリアの波長

したがってアンテナ1における受信信号は

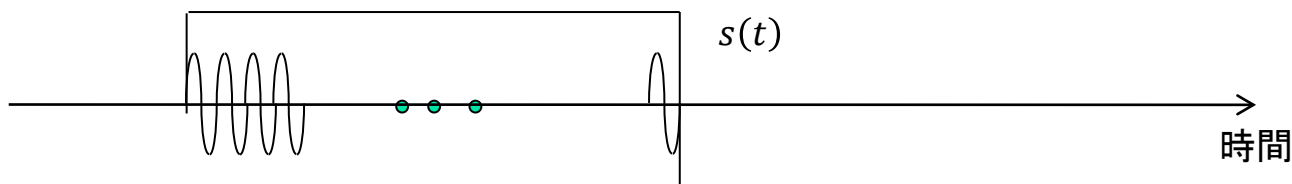
$$\begin{aligned}v_1(t) &= s(t - \tau) \exp(j\omega_c t) \exp(-j\omega_c \tau) \\ &= s(t - \tau) \exp(j\omega_c t) \exp(j2\pi d_1 \sin(\phi) / \lambda)\end{aligned}$$

信号 $s(t)$ の周期は τ に対して非常に長いので

$$v_1(t) = s(t) \exp(j\omega_c t) \exp(j2\pi d_1 \sin(\phi) / \lambda)$$

周波数変換後のベースバンド信号は

$$r_1(t) = s(t) \exp(j2\pi d_1 \sin(\phi) / \lambda)$$



すべてのアンテナ出力を重み付けして合成した出力は

$$\begin{aligned} y(t) &= \sum_{m=0}^{M-1} w_m^* r_m(t) \\ &= s(t) \sum_{m=0}^{M-1} w_m^* \exp(j2\pi d_m \sin(\phi) / \lambda) \\ &= s(t) G(\phi) \end{aligned}$$

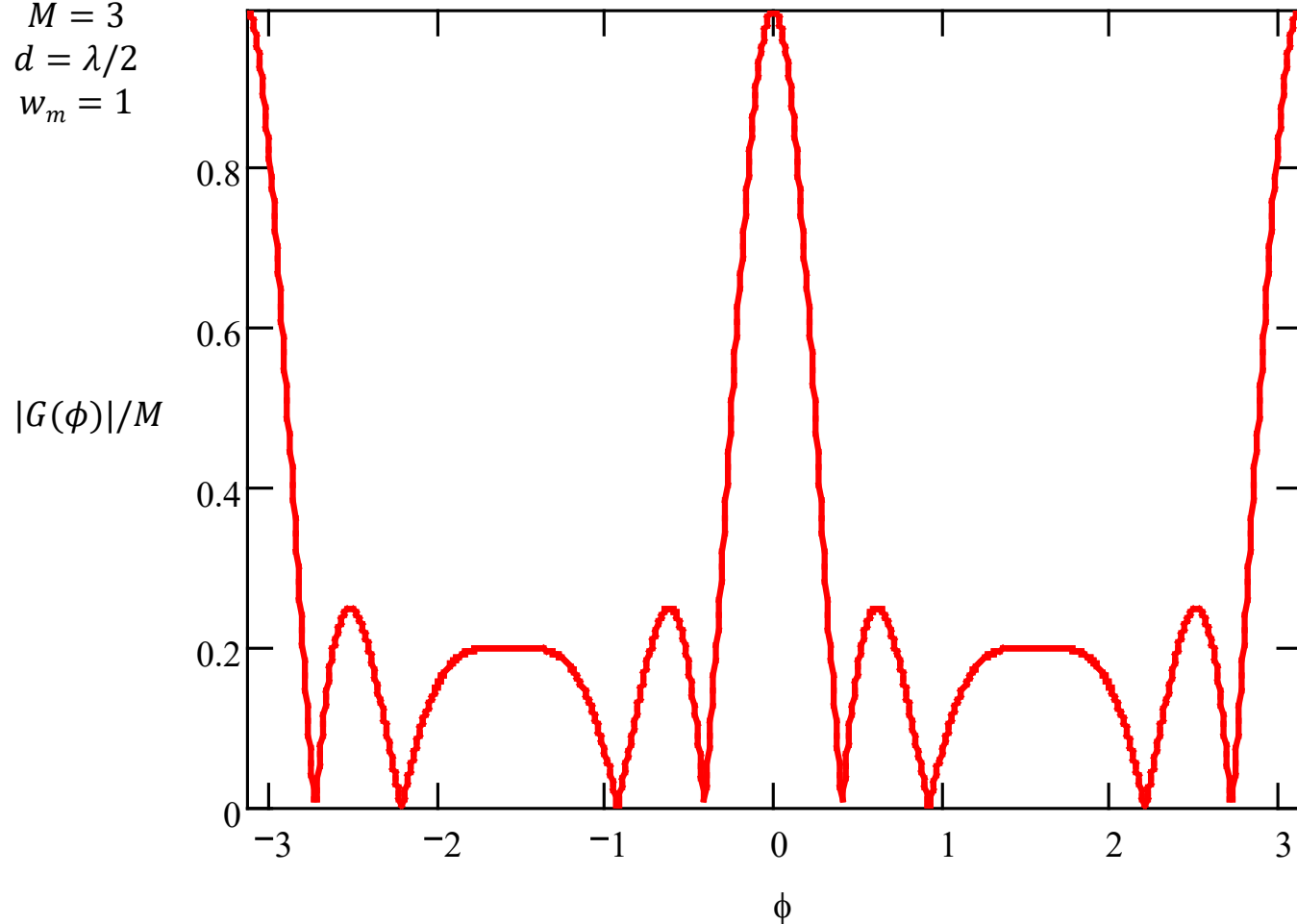
ただし

$$G(\phi) = \sum_{m=0}^{M-1} w_m^* \exp(j2\pi d_m \sin(\phi) / \lambda)$$



指向性利得

$M = 3$
 $d = \lambda/2$
 $w_m = 1$



Array.m

初期設定

```
clear;
clf;
rng;
NoArray = 128;           % アンテナ数
Interval = 0.5;         % 波長で正規化したアンテナ間隔
Resolution = 360;       % 角度分解能 360/Resolution度
Phase = -pi:2*pi/Resolution:pi; % 到来角範囲±π
Beam_direction = pi/4;  %% ビームフォーミング角度
Null_Direction = 0.3;  %% ノルフォーミング角度
Null_Thres = 0.001;    % ノルの深さ
Reserve_Gain = [];     % 条件を満たすビームパターン
Reserve_Coeff = [];    % 条件を満たす係数セット
result_index = 0;
```

Array.m

ループの開始, ビームパターンの生成

```
for Trial=1:10000
    Trial                                % Trialの表示
    Gain = 0;
    Coeff = randi(2, 1, NoArray)-1;     % 乱数による合成係数
    %Coeff = ones(1, NoArray);         % デバッグ用：合成係数1.0の場合
    for index=0:NoArray-1
        Gain = Gain + Coeff(index+1)/NoArray *
            (exp(1i*2*pi*Interval*index*sin(Phase-Beam_direction)));
    end
    Gain = abs(Gain) ./ max(abs(Gain));
```



Array.m

ヌル条件を満たす場合の処理

% ヌル条件を満たす場合の処理

```
if abs (Gain (floor (Resolution/2*Null_Direction/pi)...  
            +(Resolution/2+1))) < Null_Thres
```

% Gainインデックスの表示

```
floor (Resolution/2*Null_Direction/pi) + (Resolution/2+1)
```

% ヌルの深さの表示

```
abs (Gain (floor (Resolution/2*Null_Direction/pi)...  
            +(Resolution/2+1)))
```

```
result_index = result_index + 1;
```

% ビームパターンの保存

```
Reserve_Gain = [ Reserve_Gain; Gain ];
```

% 合成係数の保存

```
Reserve_Coeff = [ Reserve_Coeff; Coeff ];
```



Array.m

ヌル条件を満たす場合の処理

```
% 条件を満たすビームパターンの表示
semilogy (Phase, abs (Gain) ./max (abs (Gain)))
hold on
xlim([-pi pi])
xlabel('¥phi [rad]')
ylabel(' |G(¥phi) | /N_v')
ylim([10^-4 1])
%      k = waitforbuttonpress           % 処理中断, クリックで継続
end
end
```



実験の注意

- VSWRは1～の値
 - 測定値は真値かdB領域の値か要確認
- アレーアンテナ
 - 係数の変化量 > 係数の絶対値の最大値 × 0.1
 - $0 \leq \text{Coeff} \leq 1.0$ なら0.1



実験日程

- 1週目：製作するアンテナの調査
 - 専門書, 論文, WEB等の調査
 - 必要な材料の洗い出し
- 2週目：アンテナの製作, 測定
 - 材料の加工
 - VSWRの測定, 受信特性
- 3週目：アレーアンテナの合成係数決定課題
 - Q&A用Zoom会議
 - 木曜日 10:45-12:15
 - <https://keio-univ.zoom.us/j/89905746377?pwd=ZzRTZ1B6ZnZyTUxxUEo0RnlwaEViQT09>
 - ミーティングID: 899 0574 6377 パスコード: 536512



ディスカッション

レポートには下記の内容を網羅すること

- アレーアンテナの計算機実験
 - アレーアンテナの合成係数決定アルゴリズムの説明
 - アレーアンテナ合成係数決定コードのソース
 - アレーパターン一覧
 - 制約条件の元で決定した合成係数一覧
- アンテナ製作・測定実験
 - 製作したアンテナの原理と特徴の説明
 - 製作したアンテナの写真
 - VSWRの測定結果, 受信信号レベルの測定結果
 - アンテナを製作する際に工夫した点

