

FD-TD

Finite-Difference Time-Domain

Maxwell方程式の 直接解法

電磁界散乱の数値解法

Maxwellの方程式

FDTD法

波動方程式 + 境界条件

波線追跡法

グリーン関数 + 境界条件

積分法
(モーメント法、境界要素法)

電磁界のエネルギー

有限要素法(FEM)

Maxwellの方程式の一次元化

$$\mathit{rot}\mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial H_y}{\partial z}$$

$$\mathit{rot}\mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial H_x}{\partial z}$$

時間-空間の離散化

$$z = i \cdot \Delta z$$

$$t = n \cdot \Delta t$$

$$F^{(n)}(i) = F(z, t) = F(i \cdot \Delta z, n \cdot \Delta t)$$

空間の離散化と 電界・磁界のサンプル位置

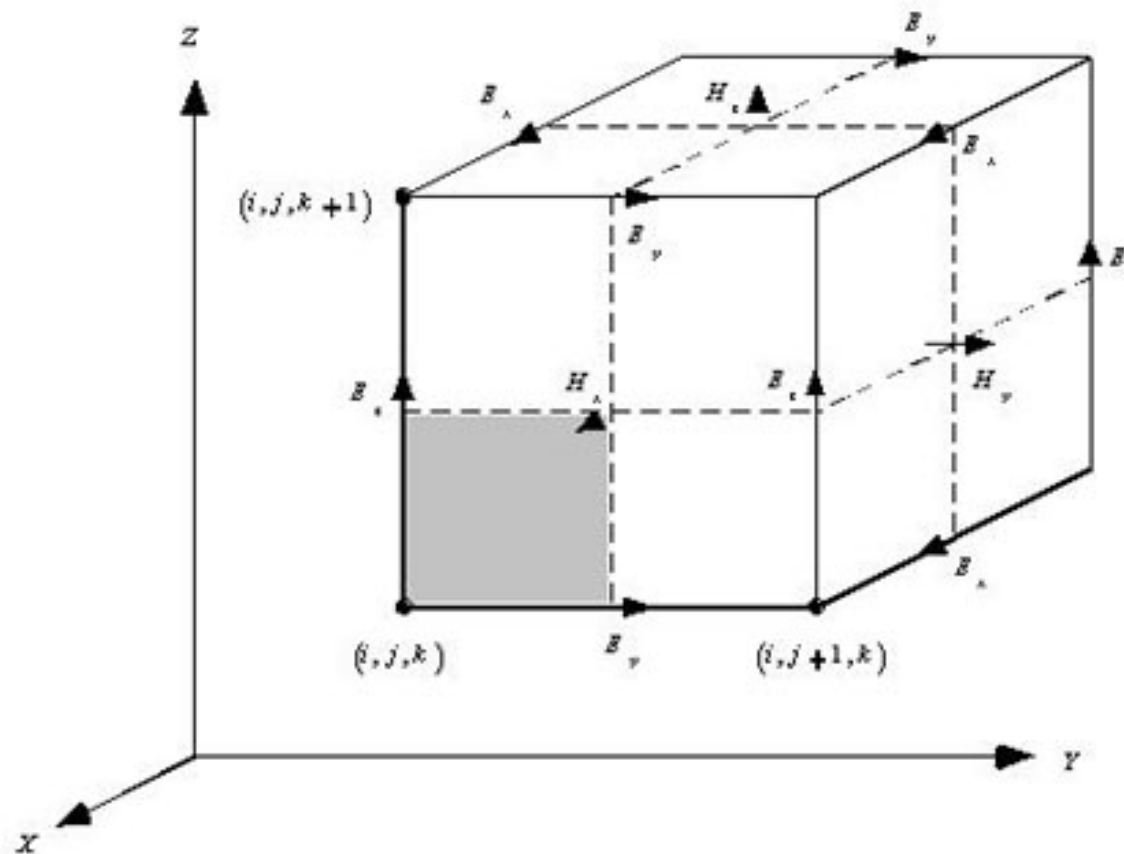


Figure 2-1: Yee's lattice for the FDTD method.

時間・空間微分の差分化

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial H_y}{\partial z}$$

$$\frac{E_x^{n+1}(i) - E_x^n(i)}{\Delta t} = -\frac{1}{\varepsilon(i)} \frac{H_y^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}) - H_y^{n+\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2})}{\Delta z}$$

$$E_x^{n+1}(i) = E_x^n(i) - \frac{\Delta t}{\Delta z \varepsilon(i)} \left[H_y^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}) - H_y^{n+\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}) \right]$$

Maxwellの方程式の差分化

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial H_y}{\partial z}$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial H_x}{\partial z}$$

$$E_x^{n+1}(i) = E_x^n(i) - \frac{\Delta t}{\Delta z \varepsilon(i)} \left[H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(i + \frac{1}{2}\right) - H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(i - \frac{1}{2}\right) \right]$$

$$H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(i + \frac{1}{2}\right) = H_y^{n-\frac{1}{2}}\left(i + \frac{1}{2}\right) - \frac{\Delta t}{\Delta z \mu(i)} \left[E_x^n(i+1) - E_x^n(i) \right]$$

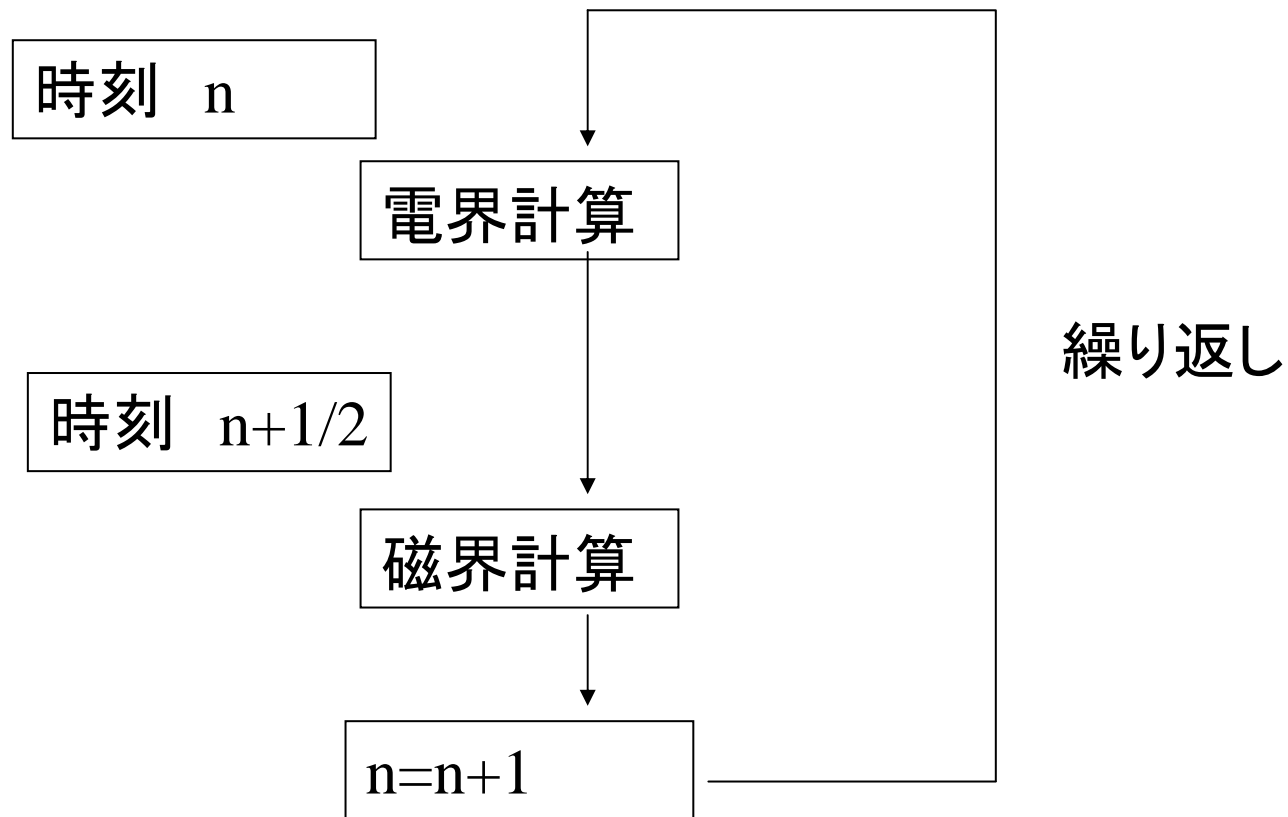
電磁界を計算のアルゴリズム

$$E_x^{n+1}(i) = E_x^n(i) - \frac{\Delta t}{\Delta z \varepsilon(i)} \left[H_y^{n+\frac{1}{2}}(i+\frac{1}{2}) - H_y^{n+\frac{1}{2}}(i-\frac{1}{2}) \right]$$

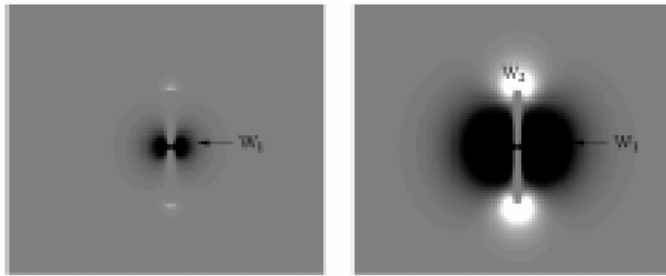
$$H_y^{n+\frac{1}{2}}(i+\frac{1}{2}) = H_y^{n-\frac{1}{2}}(i+\frac{1}{2}) - \frac{\Delta t}{\Delta z \mu(i)} \left[E_x^n(i+1) - E_x^n(i) \right]$$

- 常に以前の時間における電磁界を使って未来の電磁界を計算する。
- 空間のパラメータ(導電率、誘電率)を容易に組み込める

FDTD計算アルゴリズム

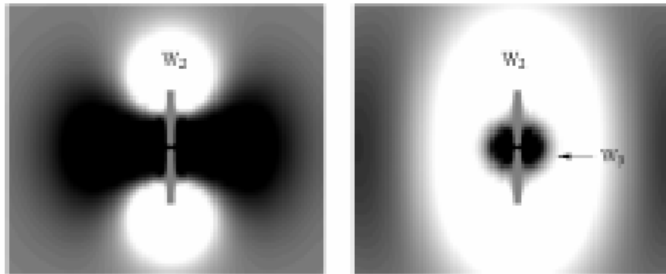


シミュレーション



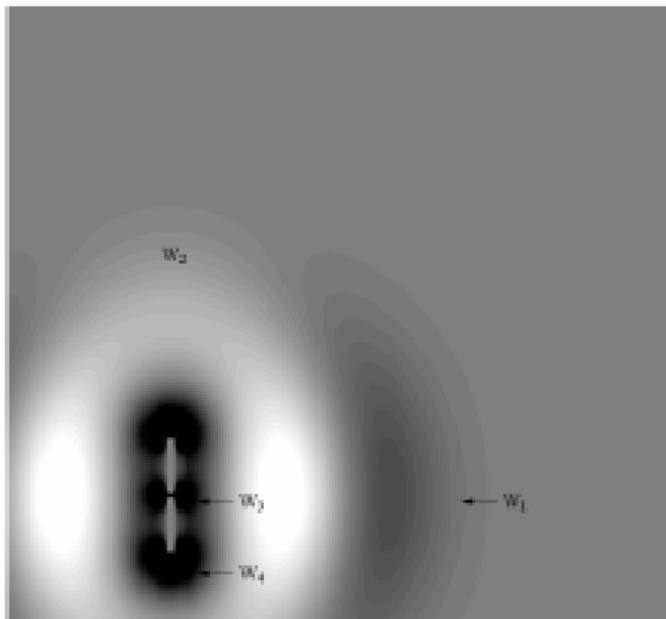
(a)

(b)

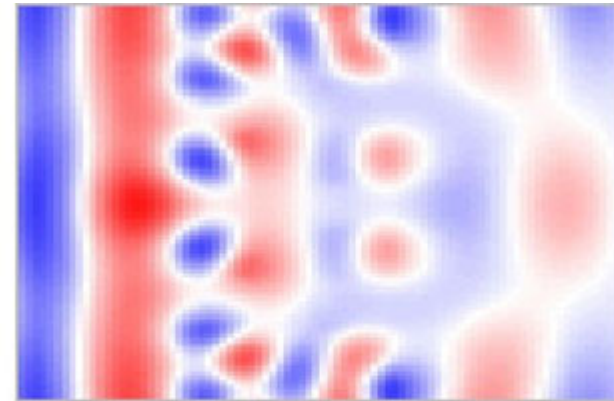


(c)

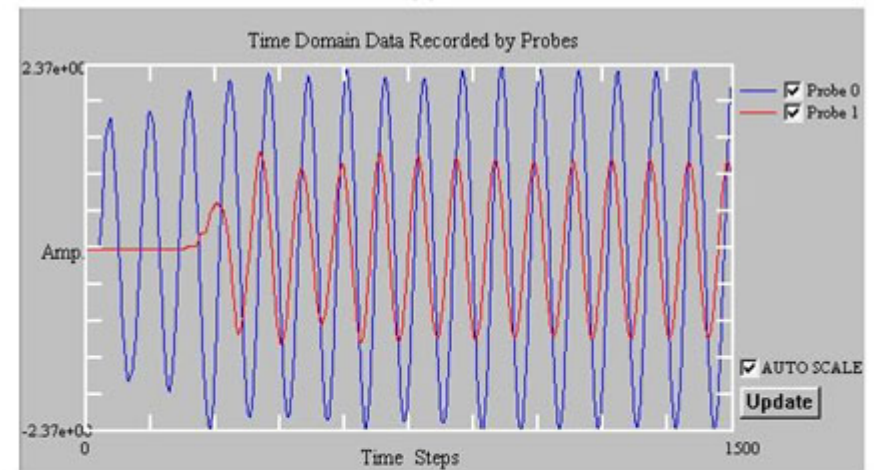
(d)



(e)



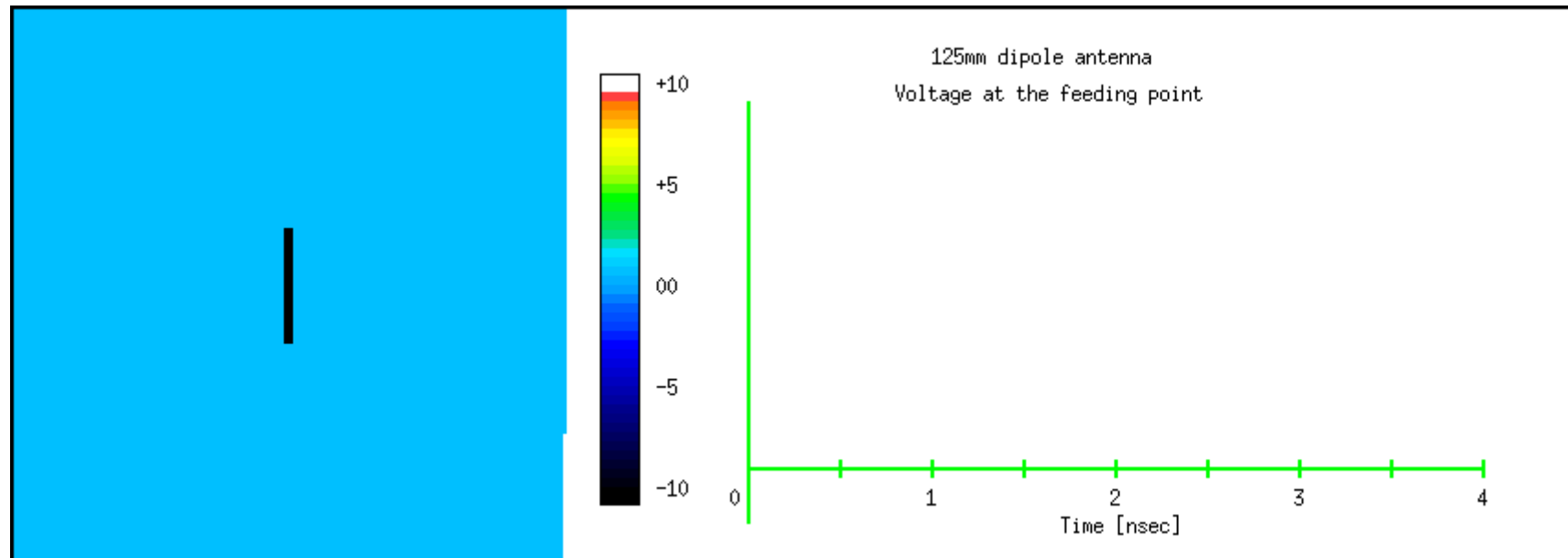
(a)



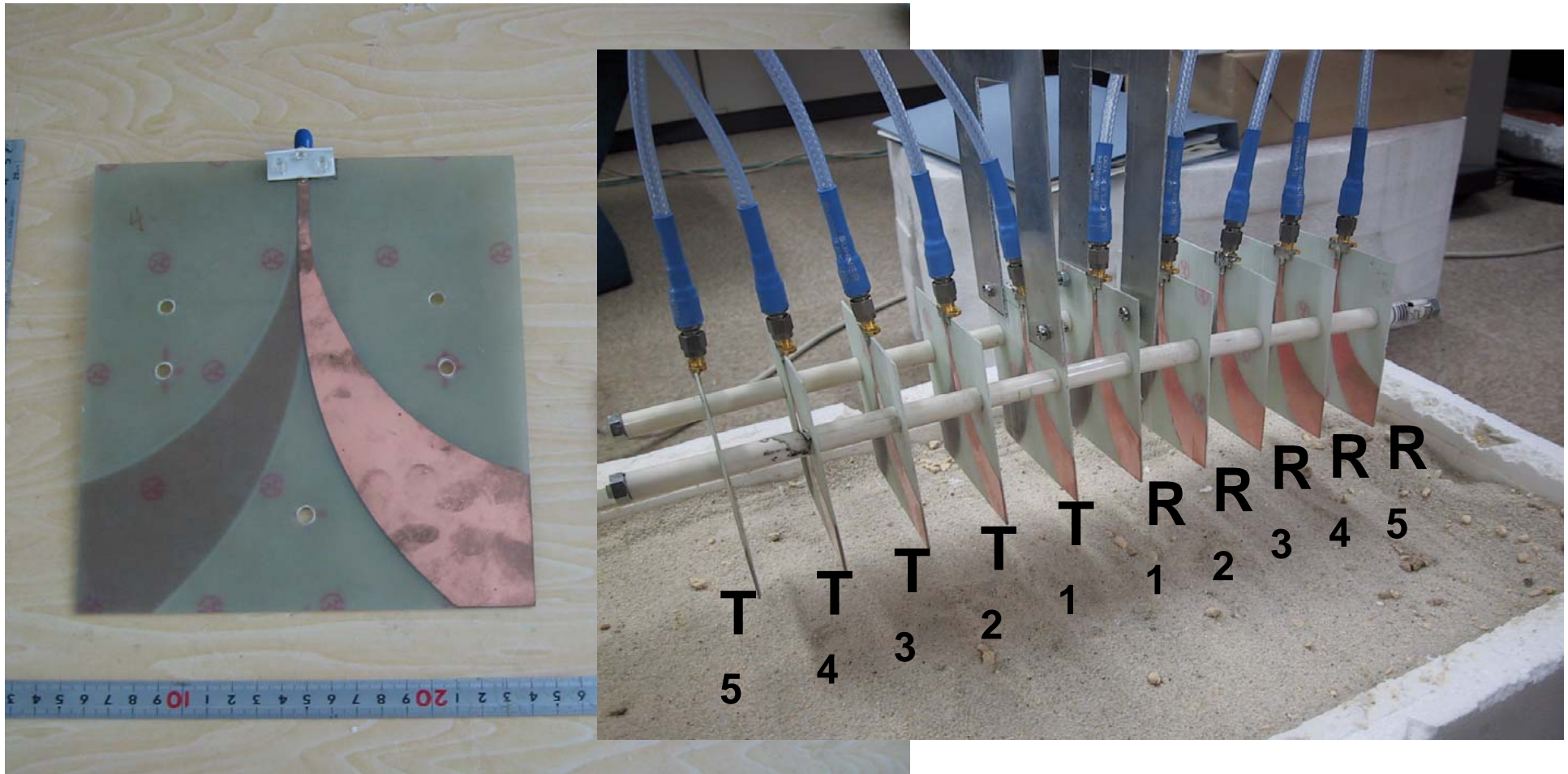
(b)

Figure 4-4: Field distribution (a) and time-domain data (b) with 11.14GHz sinusoidal excitation after 1500 time steps.

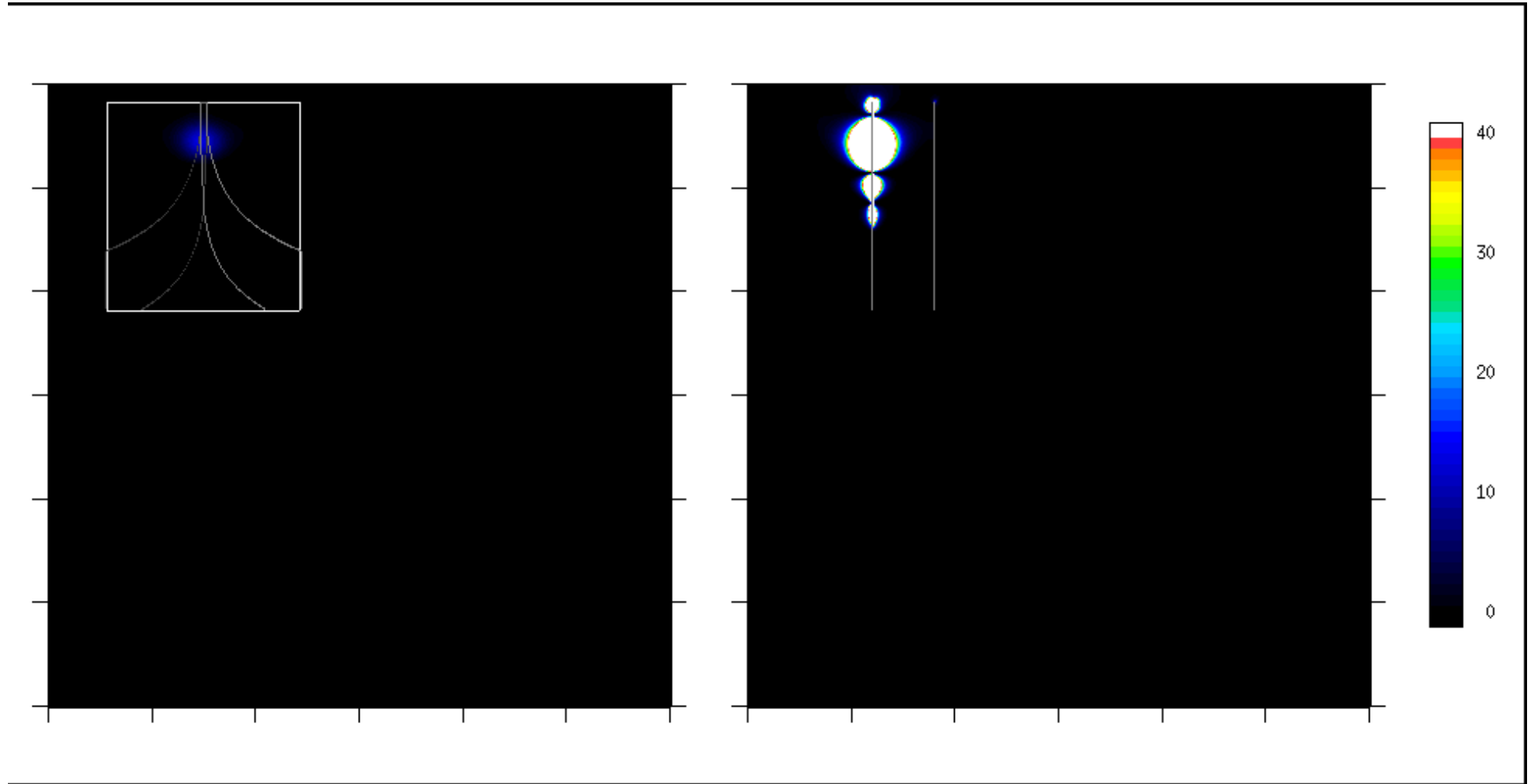
ダイポールアンテナからの電波放射



SAR-GPR用に開発した広帯域アンテナアレイ



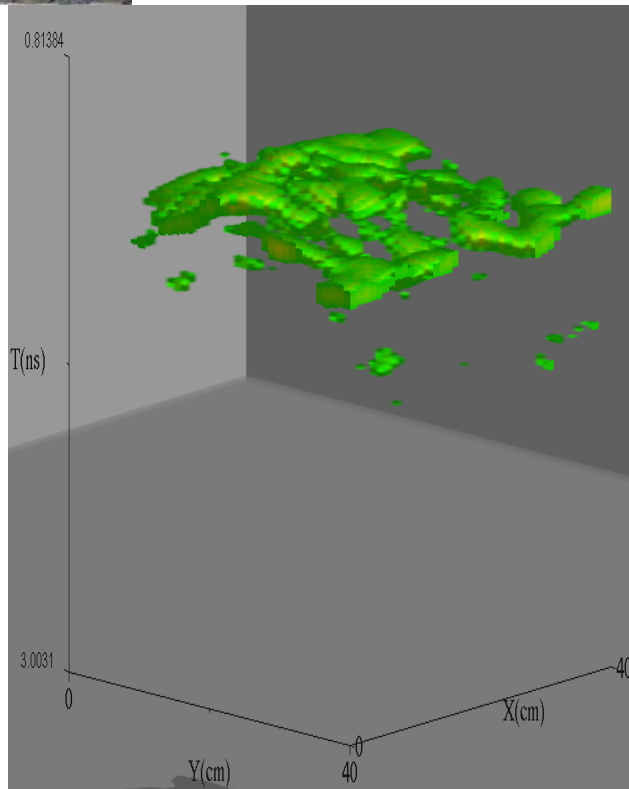
ビバルディアンテナから放射される電波の可視化



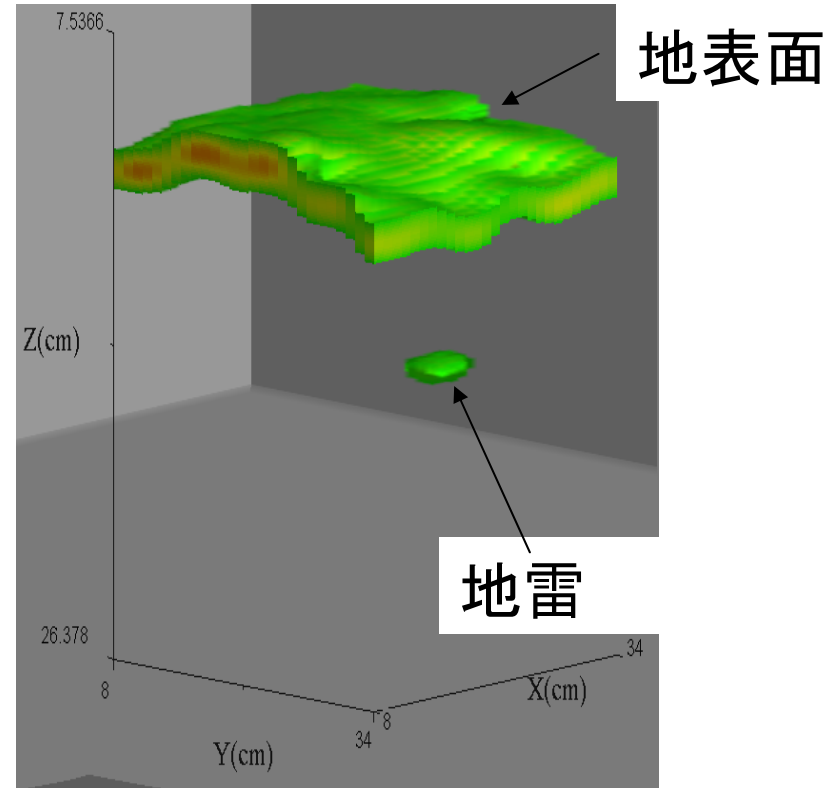




信号処理による埋設地雷 の3次元可視化



原波形



SAR-GPR信号処理画像

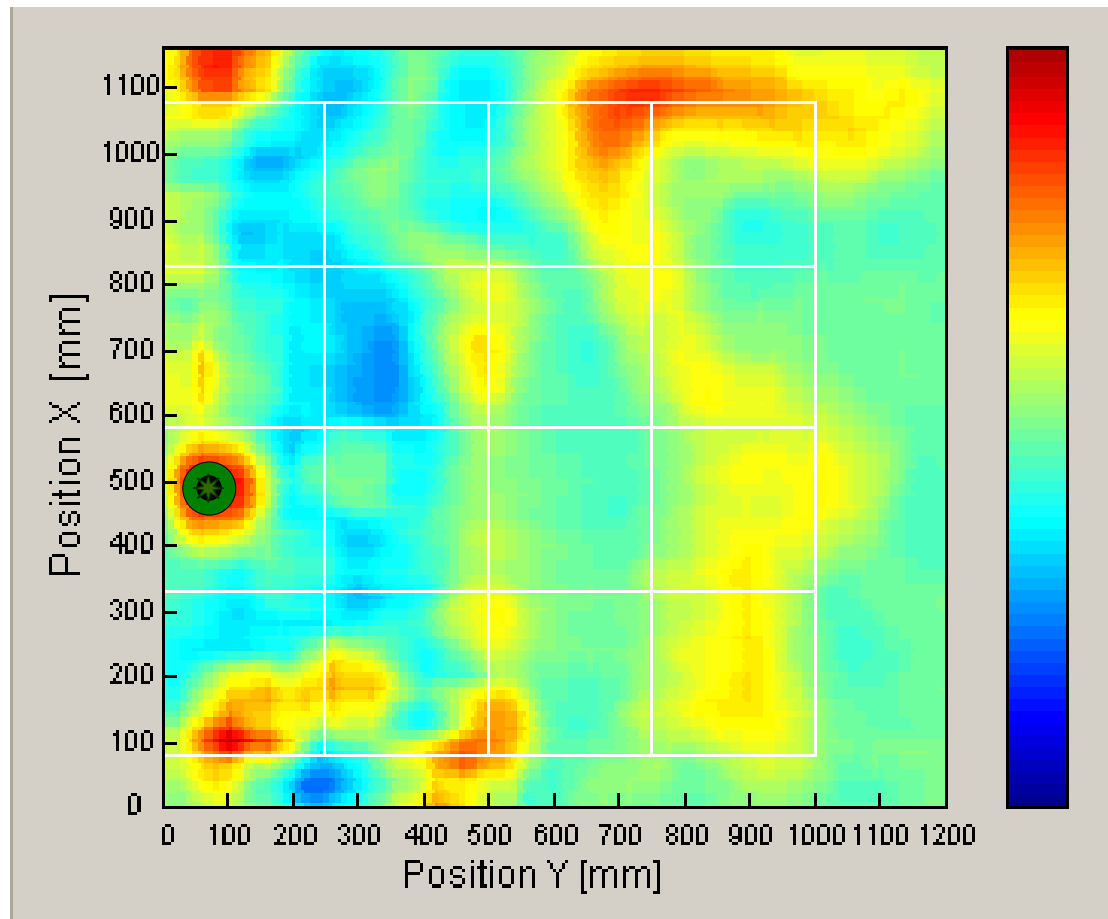
ロボット車両に搭載したSAR-GPR

技術的ブレークスルー



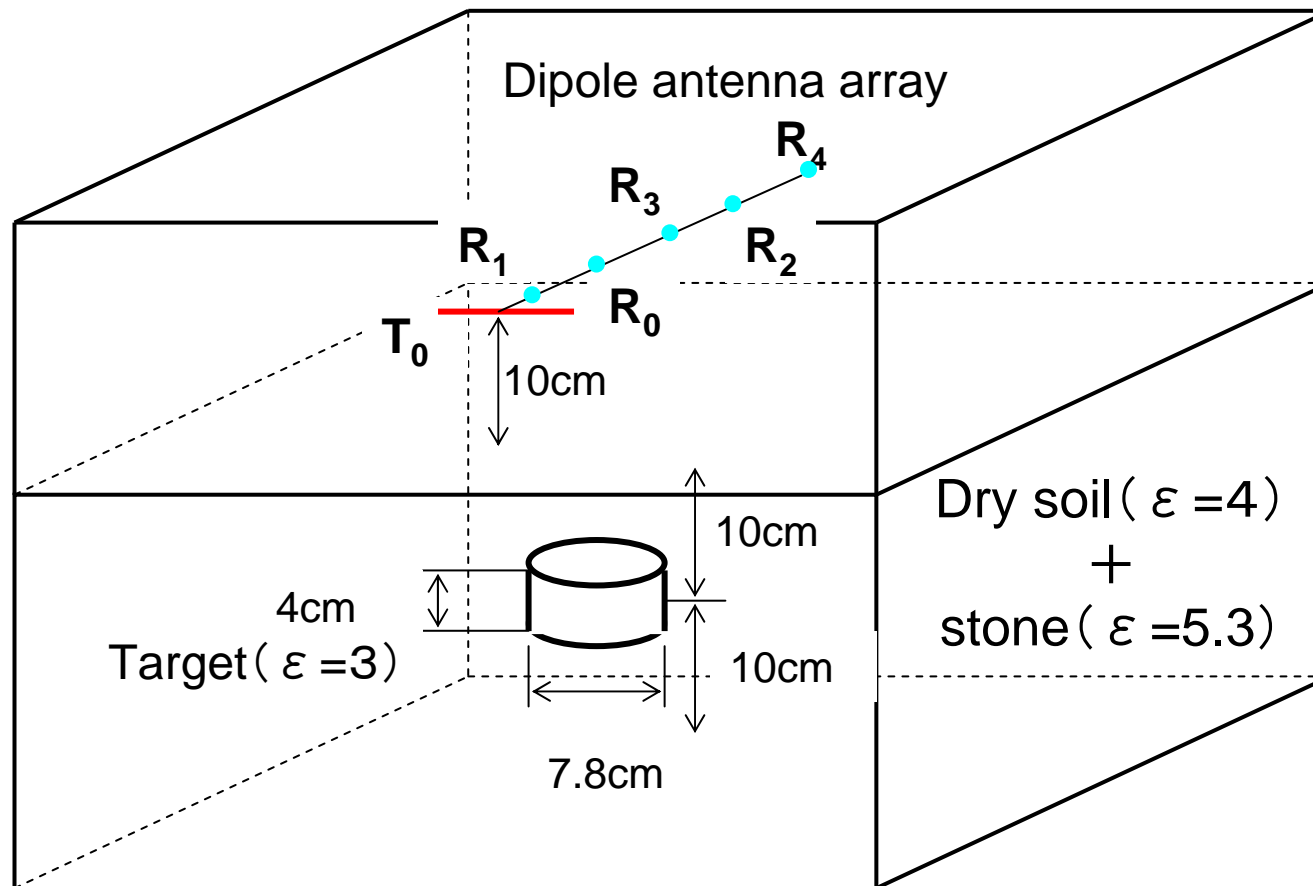
- アレイアンテナと信号処理によるクラッタ雑音除去
- 小型ベクトルネットワークアナライザ(1.5kg)による広帯域(10M-6GHz)計測の実現

SAR-GPRによる地雷検知

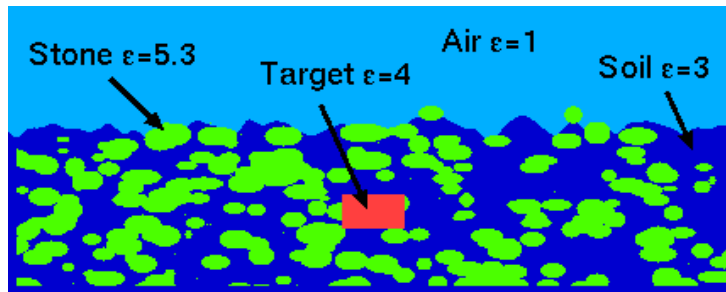


PMA-2

不均質土壌中の地雷検知モデル



FDTD による不均質な土壌中の地雷検知シミュレーション



Gaussian rough surface.
RMS height = 15mm,
Correlation distance = 20mm.

