

## モーメント法による線状アンテナの電磁界解析 -分割法によるアンテナ特性-

### Electromagnetic Analysis of Wire Antennas by using the Method of Moments - Antenna Characteristics due to Modeling-

○渡部慎太郎<sup>1</sup>, 久間丹<sup>2</sup>, 大貫進一郎<sup>3</sup>

\*Shintaro Watanabe<sup>1</sup>, Akira Kuma<sup>2</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>3</sup>

Abstract: The method of moments is one of power tools for electromagnetic analysis. In this report, we investigate characteristics of wire antennas using the method of moments for two types of wire modeling, and current density and input impedance of antennas are discussed.

#### 1. はじめに

本研究では、アンテナ設計に広く利用されるモーメント法を用いて、完全導体からなる線状アンテナを解析する。アンテナのモデリングに線分割及びパッチ分割を用い、電流密度及び入力インピーダンスについて比較検討を行う。

#### 2. 解析手法

本報告では、Fig.1(a)に示す真空中に完全導体の線状アンテナが配置されたモデルに対して、モーメント法により数値解析を行う。ここで、モデルの離散化には線分割及びパッチ分割を用いる。

##### 2. 1 線分割

未知電流  $I(z)$  が一組の関数を用いて線形結合で表されるとすると、次式となる。

$$I(z') = \sum_n I_n J_n(z') \quad (1)$$

ここで、 $I_n(n=1,2,\dots,N)$  は展開係数、 $J_n(z')$  は既知関数である。式(1)をポックリングトンの積分方程式<sup>[8]</sup>

$$\frac{1}{j\omega\epsilon} \int I(z') \left[ \frac{\partial^2 V(z,z')}{\partial z'^2} + \beta^2 V(z,z') \right] dz' + E_z^i(z) = 0 \quad (2)$$

に代入し、その値を  $R(z)$  とすると

$$R(z) = \sum_n I_n \int_{\Delta z_n} J_n(z') \Pi(z,z') dz' + E_z^i(z) \quad (3)$$

となる。但し、

$$\Pi(z,z') = \frac{1}{j\omega\epsilon} \left[ \frac{\partial^2 V(z,z')}{\partial z'^2} + \beta^2 V(z,z') \right] \quad (4)$$

$\beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$ ,  $V(z,z')$  と  $E_z^i(z)$  は既知関数である。

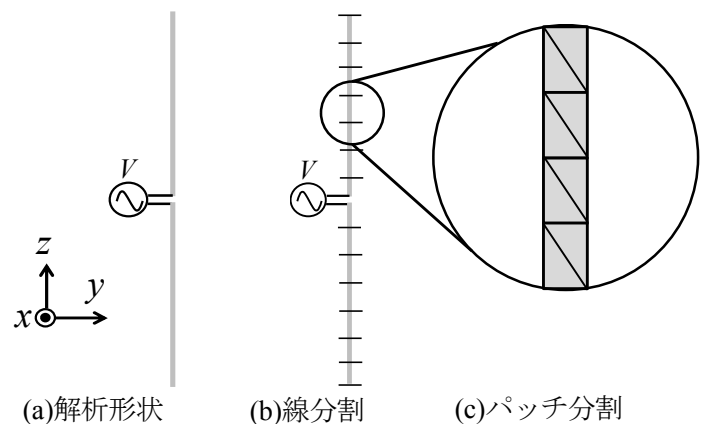


Figure 1. Computational Geometry and Antenna modeling

次に、重み関数である  $W_m(z)(m=1,2,\dots,N)$  を式(3)に掛けて積分すると次式を得る。

$$\sum_n I_n \int_{\Delta z_m} W_m(z) \int_{\Delta z_n} J_n(z') \Pi(z,z') dz' dz = - \int_{\Delta z_m} W_m(z) E_z^i(z) dz \quad (5)$$

式(6)は  $I_n$  についての連立方程式であり、行列表現では

$$[Z_{mn}][I_n] = [V_m] \quad (6)$$

となる。ここで

$$Z_{mn} = \int_{\Delta z_m} W_m(z) \int_{\Delta z_n} J_n(z') \Pi(z,z') dz' dz \quad (7)$$

$$V_m = - \int_{\Delta z_m} W_m(z) E_z^i(z) dz \quad (8)$$

である。

##### 2. 2 パッチ分割

パッチ分割では、三角要素を用いる<sup>[2]</sup>。この時、式(6)の行列変数入射ベクトルの要素  $V_m$  は

$$V_m = \ell_m \left( \bar{\mathbf{E}}_m^+ \cdot \frac{\bar{\boldsymbol{\rho}}_m^{c+}}{2} + \bar{\mathbf{E}}_m^- \cdot \frac{\bar{\boldsymbol{\rho}}_m^{c-}}{2} \right) \quad (9)$$

インピーダンス行列の要素  $Z_{mn}$  は

$$Z_{mn} = \ell_m \left[ j\omega \left( \mathbf{A}_{mn}^+ \cdot \boldsymbol{\rho}_m^{c+} / 2 + \mathbf{A}_{mn}^- \cdot \boldsymbol{\rho}_m^{c-} / 2 \right) + \Phi_{mn}^- - \Phi_{mn}^+ \right] \quad (10)$$

より表される。但し、

$$\boldsymbol{\rho}_m^{c+} = \mathbf{r}_m^{c+} - \mathbf{v}_m^+ , \quad \boldsymbol{\rho}_m^{c-} = -\mathbf{r}_m^{c-} + \mathbf{v}_m^- \quad (11)$$

$$\mathbf{A}_{mn}^\pm = \frac{\mu}{4\pi} \left[ \frac{\ell_n}{2A_n^+} \int_{\Gamma_n^+} \boldsymbol{\rho}_n^+(\mathbf{r}') g_m^\pm(\mathbf{r}') dS' - \frac{\ell_n}{2A_n^-} \int_{\Gamma_n^-} \boldsymbol{\rho}_n^-(\mathbf{r}') g_m^\pm(\mathbf{r}') dS' \right] \quad (12)$$

$$\Phi_{mn}^\pm = -\frac{1}{4\pi j\omega\epsilon} \left[ \frac{\ell_n}{A_n^+} \int_{\Gamma_n^+} g_m^\pm(\mathbf{r}') dS' - \frac{\ell_n}{A_n^-} \int_{\Gamma_n^-} g_m^\pm(\mathbf{r}') dS' \right] \quad (13)$$

$$g_m^\pm(\mathbf{r}') = \frac{e^{-jk|\mathbf{r}_m^{c\pm} - \mathbf{r}'|}}{|\mathbf{r}_m^{c\pm} - \mathbf{r}'|} \quad (14)$$

とする。式(7)の連立方程式を解くことで、線状アンテナ上の未知電流  $I_n$  が求まる。

### 3. 解析結果

真空中に置かれた完全導体の線状アンテナを仮定し、給電点が中央に位置する場合について、線分割及びパッチ分割を用いたモーメント法により解析を行う。

Fig.2 はアンテナの長さを 0.5 m に固定した際の電流密度のグラフである。線分割及びパッチ分割の結果は図上でよく一致している。また、給電点を設定したアンテナ中央付近が最大値となっていることがわかる。

Fig.3 は線分割とパッチ分割の入力インピーダンスを分割数ごとに比較した図となっている。分割数を増やすことで入力インピーダンスは収束するが、2つの分割法において収束値に僅かな差が確認できる。

### 4. まとめ

本報告では、線状アンテナを異なる分割法によりモデリングし解析を行った。その結果、電流密度は図上でほぼ一致した結果が得られた。入力インピーダンスに関しては、分割数に対する収束値に僅かな差異が生ずることを確認した。今後は、様々アンテナ形状に対してモデル化の詳細な検討を行う。

### 5. 謝辞

本研究の一部は、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた。

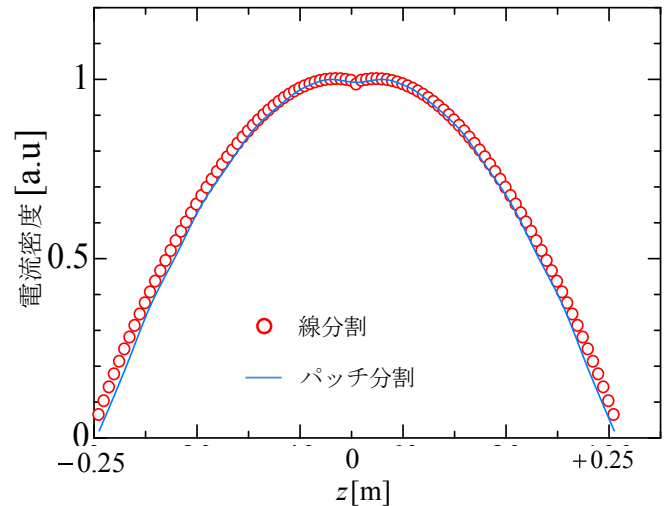


Figure 2. Current density

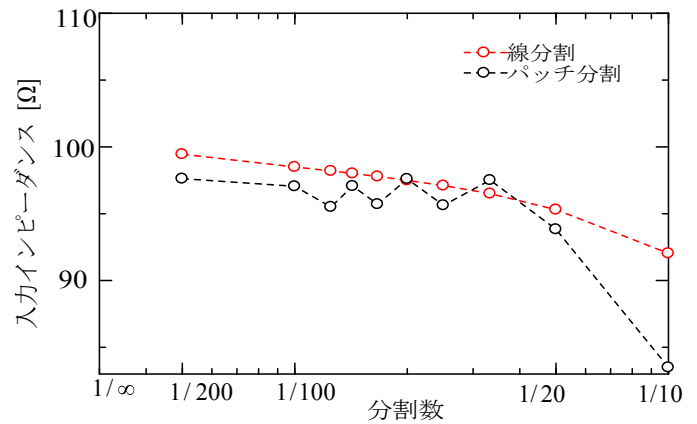


Figure 3. Input impedance

### 6. 参考文献

[1] R. F. Harrington, : “Field Computation by Moment Methods”, IEEE PRESS, 1992.  
 [2] S. N.Makarov, : “Antenna and EM Modeling with MATLAB”, WILEY-INTERSCIENCE, 2002.  
 [3] W. C. Gibson, : “The Method of Moments in Electromagnetics”, CRC Press, 2008.  
 [4] R. F. Harrington, : “Time Harmonic Electromagnetic Fields”, McGRAW-HILL, 1961.  
 [5] W. L. Stuzman, and G. A. thiele, : “Antenna Theory and Design”, Copyrighted Material, 1961.  
 [6] A. F. Peterson, S. L. Ray and R.Mitra, : “Computational Methods for Electromagnetics”, IEEE-PRESS, 1998.  
 [7] 渡部慎太郎, 大貫進一郎, : ”無線電力伝送の送電効率向上に向けた電磁界解析”, 3-11, 2014.  
 [8] 中野久松, : ”モーメント法によるアンテナ解析入門コース”, 電子情報通信学会, 1994.