

## 金属棒を使った波源探査法 (第1報)

光電子科 電子スタッフ 田中孝彦\* 吹原祐子\*\* 長谷川茂

A Method to Locate the Major Source of the Radio Disturbance  
Using the Metal Pole (1st Report)

Norihiko Tanaka, Yuko Fukihara and Shigeru Hasegawa

When the quasi-peak value exceeds the radio disturbance (EMI) limit, EMI measures to the major source of the radio disturbance have to be implemented. In the near-field, there are some tools to locate the source of the radio disturbance, but they are very expensive, and the electromagnetic field is disturbed by them. In addition, they are not able to be used in the place where EMI measuring is performed.

Then, a method to locate the major source of the radio disturbance using the metal pole was proposed. When the metal pole is put around the equipment under test(EUT), a different quasi-peak value corresponding to the position of the pole is obtained. As the values are related to the positions of the source and the pole, the location of the source is able to be calculated from analyzing the relationship between the fluctuation of the values and the positions of the pole. The theory of this method was described in this paper. The relationship between them was simulated by the moment method, and the correspondence between the simulation values and the actual values were checked. And also the material and the diameter of the pole were optimized.

## 1. はじめに

欧米におけるEMC (電磁環境適合性) 規制の導入に続き、近年、アジア各国でもEMC規制の体系が整備されつつある。これにより電子機器を搭載した多くの製品は、機器から発生する電磁波を調べる妨害波測定<sup>1)</sup>をはじめとする各種のEMC試験を実施し、これらの試験に合格しなければならない。

製品から出る電磁波が規制値を超える場合、これを抑える対策を行わなければならない。対策には「製品のどの部分から妨害波が漏れているのか」といった情報が必要である。国際規格で定められている妨害波測定は、妨害波の強度を測定するが、その波源位置を明らかにできない。波源を探すツールとして、製品近傍の電磁波を測定するタイプの装置は市販されているが、高価である、装置自体が電磁界を乱してしまう、妨害波測定を行いながら利用することができない、等の問題がある。このため、多くの技術者は、勘と経験を頼りに対策を行っているの

が現状である。

そこで我々は、EUT (被試験装置) の周辺を金属棒でスキャンし、このときに生じる電磁界の乱れから、妨害波の波源位置を推定する方法について検討した。この方法は、安価な波源探索を妨害波測定を行う現場で可能にするという特長を有している。本報告では、金属棒による波源探査の原理、モーメント法によるシミュレーション、シミュレーションと実測との比較、金属棒の材質・太さが探査に及ぼす影響について報告する。

## 2. 方法

## 2. 1 波源探査の原理

波源探査は、規格で定められている妨害波測定後に行う。従って、妨害波の周波数は既知であるというのが前提条件である。EUT周辺に金属棒を置いた場合、ノイズ源をダイポールアンテナとして考えると、このとき金属棒はダイポールと一体となった

\* ) 現 (株) 静岡産業創造機構 \*\* ) 現 退職

アンテナのエレメントとして考えられる。エレメントの性質は、その長さが電磁波の  $1/2$  波長  $\times 0.96$  より長い場合と短い場合で違ったものとなる。

(1) 長さが  $1/2$  波長  $\times 0.96$  より長い場合

図1の空中線長とリアクタンス成分との関係より、エレメントは誘導性となり、電磁波によってエレメントに生じる電流は電磁波の位相より90度遅れる。例えば、図2(a)のようにノイズ源から  $1/4$  波長離れた位置にエレメントを置いた場合、ノイズ源からの電磁波は、①90度遅れてエレメントに到達、②エレメントに90度遅れた電流が流れる、③電流により90度遅れた電磁波を放射、④90度遅れてノイズ源に到達する。ノイズ源からの電磁波とエレメントから放射される電磁波の位相に着目すると、ノイズ源付近では位相が揃い、エレメント付近では位相が逆となる。この結果、エレメントは電磁波を反射する反射器として働く。

(2) 長さが  $1/2$  波長  $\times 0.96$  より短い場合

図1の空中線長とリアクタンス成分との関係より、エレメントは容量性となり、電磁波によってエレメントに生じる電流は電磁波の位相より90度進む。例えば、図2(b)のようにノイズ源から  $1/4$  波長離れた位置にエレメントを置いた場合、ノイズ源からの電磁波は、①90度遅れてエレメントに到達、②エレメントに90度進んだ電流が流れる、③電流により90度遅れた電磁波を放射、④90度遅れてノイズ源に到達する。ノイズ源からの電磁波とエレメントから放射される電磁波の位相に着目すると、ノイズ源付近では位相が逆で、エレメント付近では位相が揃う。この結果、エレメントは電磁波を導く導波器として働く。

以上の性質を利用すれば、図3に示すようにエレメントをEUTの周辺で移動させることにより波源探査が可能である。エレメントは、長さが  $1/2$  波長  $\times 0.96$  より長い場合には反射器となる。この場合、電磁波測定装置で計測される電界強度は、エレメントの位置がノイズ源より前方のとき小さくなり、後方で大きくなる。また、エレメントは、長さが  $1/2$  波長  $\times 0.96$  より短い場合には導波器となる。電界強度は、エレメントの位置がノイズ源より前方

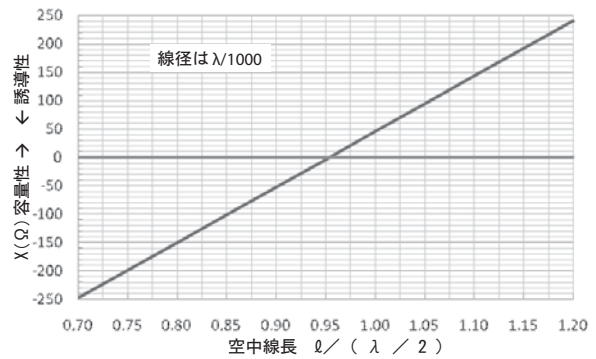


図1 空中線長とリアクタンス成分との関係

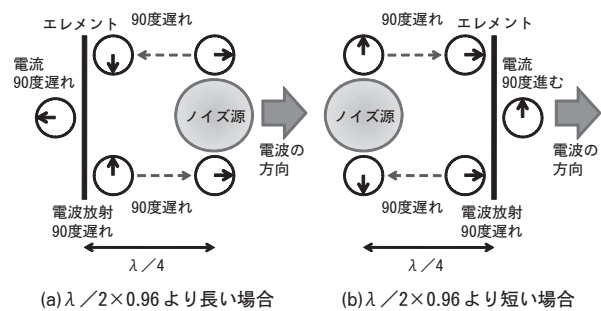


図2 エレメントの性質

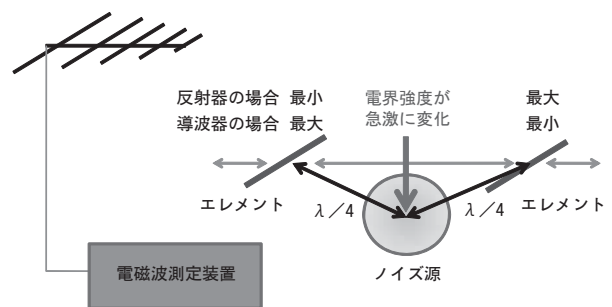


図3 波源探査の原理

のとき大きくなり、後方で小さくなる。この電界強度の変化から波源の位置が推定可能である。エレメントは、2種類用意する必要はなく、EUTの形状等を考慮し、利用しやすい方を用いれば良い。

2. 2 モーメント法によるシミュレーションと実測

エレメントをダイポールアンテナ周辺で移動させたとき、電磁波測定装置で計測される電界強度を、モーメント法によるシミュレーションで求めた。基本的な計算条件は、妨害波の測定を行う電波半無響室と同じ環境とした。即ち、壁・天井で無反射、床面で完全反射、ノイズ源の床からの高さは80cmとした。この条件で、エレメントをノイズ源から20mm上方で前後方向に移動させた場合の電界強度を求めた。

今回のシミュレーションでは、計算エンジンとし

てMININEC<sup>2)</sup>を使用した。MININECのNECとは、Numerical Electromagnetics Code の略で、米国Lawrence Livermore国立研究所などが共同で開発したソフト（フリー）である。MININECは、NECの簡易版である。

シミュレーションの有効性を確認するため、電波半無響室に同様の条件でダイポールアンテナとエレメントを配置し、エレメントを移動したときの電界強度の変化を電磁波測定装置により実測した。

### 2. 3 エレメントの材質・太さ等が波源探査に及ぼす影響

エレメント、すなわち金属棒の材質が波源探査に及ぼす影響をシミュレーションにより調べた。伝導度の違いから材質を銅、アルミ、鉄とし、それぞれの形状を棒状、パイプ状とした場合について計算を行った。また、エレメントの太さが波源探査に及ぼす影響をシミュレーションにより調べた。

それぞれ、エレメントをノイズ源から20mm上方で前後方向に移動させた場合の電界強度を求めた。ダイポールアンテナはアルミのパイプ、太さは半径5

mmとして計算した。

## 3. 結果

### 3. 1 モーメント法によるシミュレーションと実測

エレメントを反射器とした結果を図4、5、6に示す。図の横軸はエレメントとダイポールとの距離  $d$  (cm) であり、ダイポールの位置が0点である。エレメントはダイポールから20mm上方で移動した。電界強度を計測する電磁波測定装置のアンテナはマイナスの方向（ダイポールからの距離：3 m）にある。

図の縦軸が電界強度であり、ここでは、ダイポールとエレメントからなるアンテナのゲイン (dBi) として表した。図4は、妨害波の周波数を1000MHzとして、反射器であるエレメントをノイズ源の前方-10cmから後方+10cmまで移動させた結果である。-10cmから-1cmまでの間はエレメントが前方への電磁波を遮るためゲインが低くなり、エレメントがダイポールの後方に位置すると電磁波を前方に反射してゲインが高くなる。シミュレーションで最もゲイ

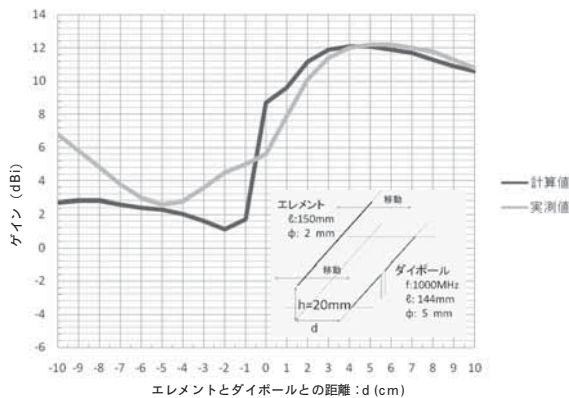


図4 反射器 (1000MHz)

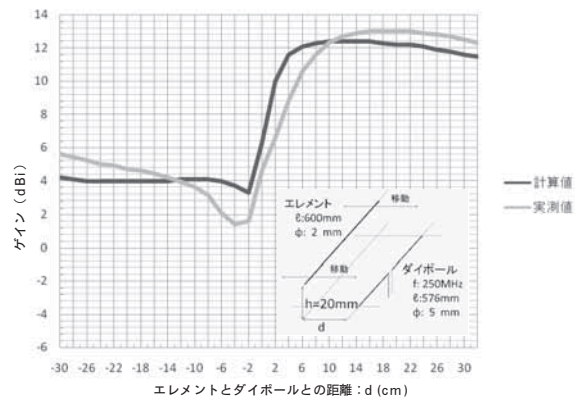


図6 反射器 (250MHz)

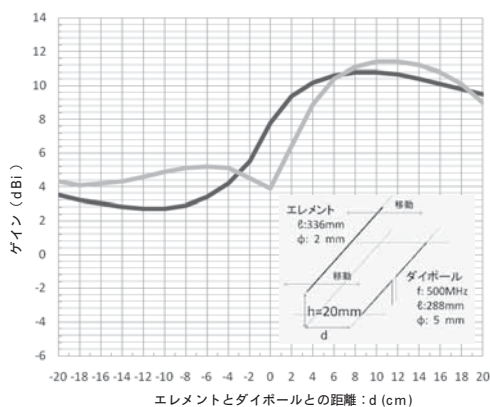


図5 反射器 (500MHz)

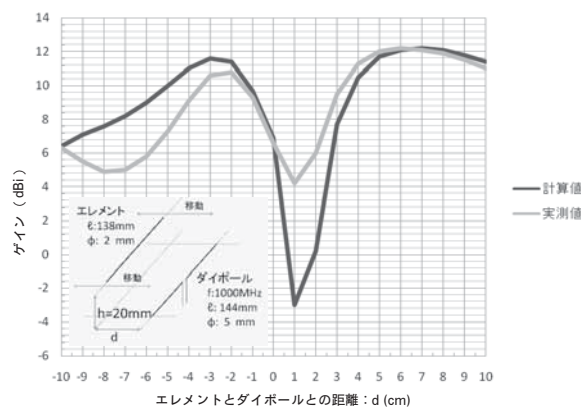


図7 導波器 (1000MHz)

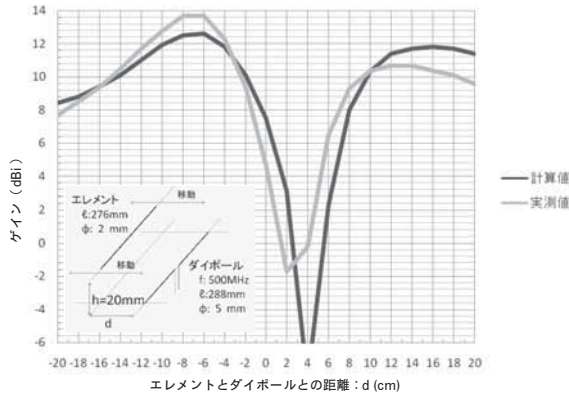


図8 導波器 (500MHz)

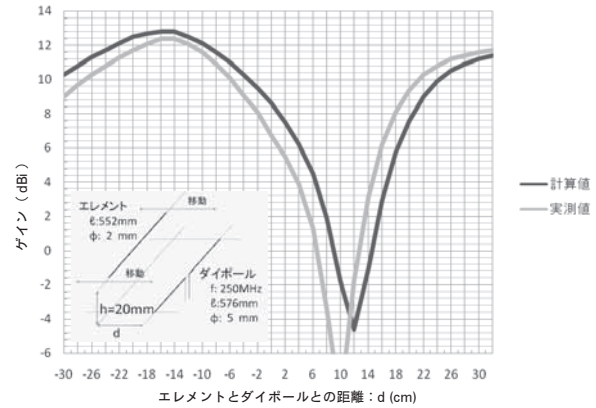


図9 導波器 (250MHz)

ンが高かった位置は、ダイポールの後方+4 cm付近であった。図5に500MHz、図6に250MHzの結果を示す。それぞれ波長が1000MHzの2倍、3倍になるため移動の距離も2倍、3倍とした。500MHz、250MHzでも1000MHzと同様の傾向を示した。シミュレーションで最もゲインが高かった位置は、500MHzの場合、ダイポールの後方+8 cm付近、250MHzの場合、ダイポールの後方+14cm付近であった。実測の結果は、最もゲインが高い箇所が図4の1000MHzで+5 cm付近、図5の500MHzで+10 cm付近、図6の250MHzで+20cm付近であり、シミュレーションの結果と比べるとやや後方寄りとなった。

エレメントを導波器とした結果を図7、8、9に示す。それぞれ、1000MHz、500MHz、250MHzの結果である。導波器の場合、エレメントの位置がダイポールより前方でゲインが高くなり、後方で低くなる。ただし、エレメントがさらに後方に移動してダイポールから十分離れると、その性質が導波器から反射器へと変わる。その結果、エレメントは電磁波を前方に反射するようになり、ゲインが再び高くなる。シミュレーションで最もゲインが上がったのは、図7の1000MHzで-3 cm付近、図8の500MHzで-6 cm付近、図9の250MHzで-14cm付近であった。実測の結果は、図7の1000MHzで-2 cm付近、図8の500MHzで-6 cm付近、図9の250MHzで-14cm付近となり、シミュレーションの位置とほぼ一致した。

両結果から、EUT周辺で金属棒を反射器または導波器として移動させた場合、電界強度の変化が十

分あり、波源探査を行えることが分かった。

### 3. 2 エレメントの材質・太さ等が波源探査に及ぼす影響

エレメントの材質による影響をシミュレーションにより調べた結果を図10、11に示す。図10は反射器、図11は導波器としての結果である。両結果とも銅とアルミに違いはなかったが、抵抗が他の材質と比べて少し高い鉄の場合、ややゲインが落ちた。同じ材質を用いた棒状とパイプ状のエレメントは、ほぼ同じ結果となり、形状による違いは見られなかった。波源探査を行う場合には、よりゲインが高い銅またはアルミ製のエレメントが望ましいことが分かった。

エレメントの太さによる影響をシミュレーションにより調べた結果を図12、13、14、15に示す。図12は反射器の結果である。太さによる影響は小さいが、半径が1 mmを下回るような細棒になるとゲインがやや落ちた。図13、14、15は導波器の結果である。導波器の場合、太さによる影響が大きく、また、周波

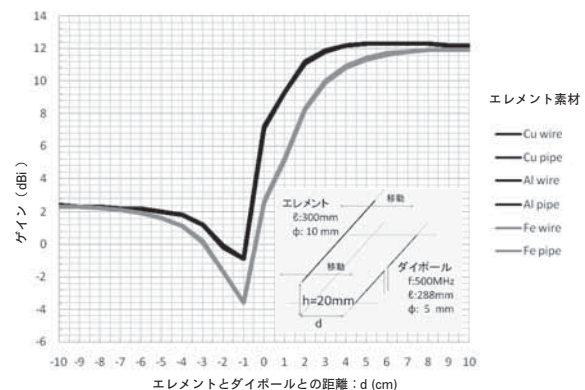


図10 材質による影響 (反射器)

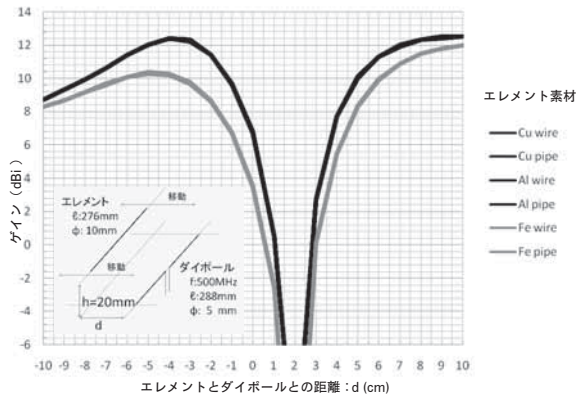


図11 材質による影響 (導波器)

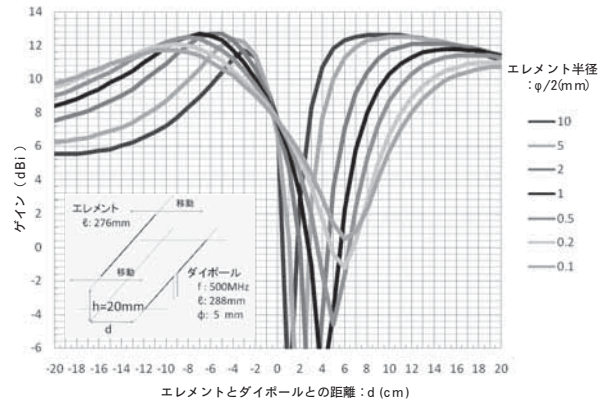


図14 太さによる影響 (導波器:500MHz)

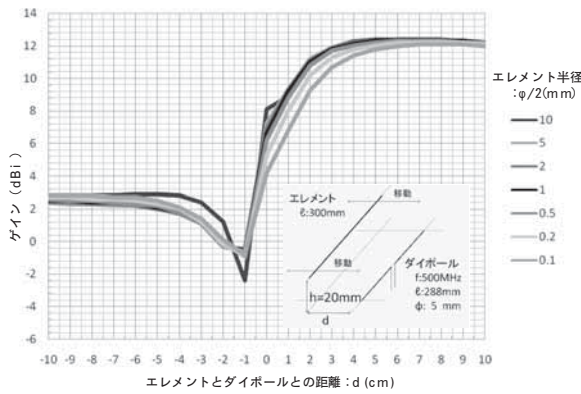


図12 太さによる影響 (反射器)

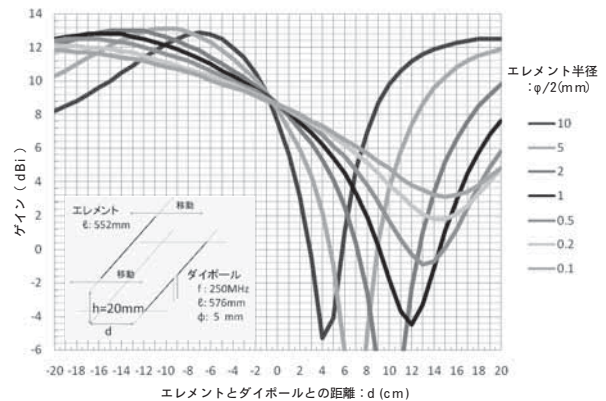


図15 太さによる影響 (導波器:250MHz)

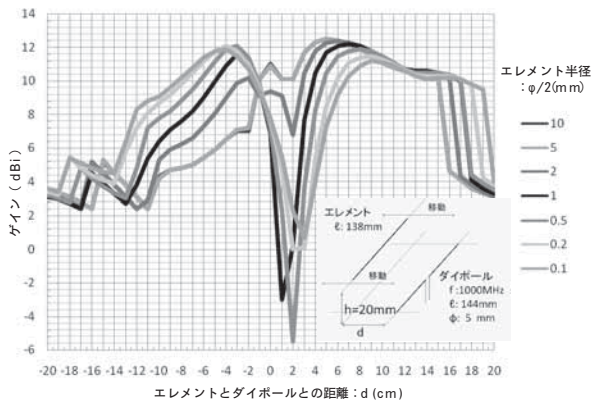


図13 太さによる影響 (導波器:1000MHz)

数依存性があった。図13は1000MHz、図14は500MHz、図15は250MHzの結果である。ダイポール前方の位置で最大ゲインが得られるエレメントの太さは、それぞれ半径0.5mm、2mm、5mmであった。波源探査を導波器で行う場合には、周波数に適した太さのエレメントを用意する必要があることが分かった。

4. まとめ

被試験装置 (EUT) の周辺を金属棒でスキャン

し、このときに生じる電磁界の乱れから、妨害波の波源位置を推定する方法について検討した。この方法は、安価な波源探索を、妨害波測定を行う現場で可能にする。

モーメント法によるシミュレーションと実測を行った結果、EUT周辺で金属棒を反射器または導波器として移動させた場合、電界強度の変化が十分あり、波源探索を行えることが分かった。金属棒を反射器として使用する場合、実測値の電界強度の波形は、理論値の波形よりややノイズ源の後方にシフトする傾向があった。シフトの量は、ノイズ源の後方で電界強度が最大となる位置を基準にすると、波長に対して+3~+5%程度のずれであった。金属棒を導波器として使用する場合、ノイズ源前方で電界強度が最大となる位置を基準とすると、実測値の電界強度の波形と理論値の波形はほぼ一致した。今後、これらの点を考慮に入れ、電界強度の波形からノイズ源の位置を計算する。

金属棒には、銅またはアルミのように電気伝導度

が高い材質が適していることが分かった。形状は、棒状でもパイプ状でも差はなかった。金属棒を反射器として使用する場合、半径1 mm以上の太さのものが適していることが分かった。また、金属棒を導波器として使用する場合、その最適な太さは周波数によって違うことが分かった。周波数が高くなると、最適なエレメントの径は細くなる傾向があった。

#### 参考文献

- 1) 情報処理装置等電波障害自主規制協議会：技術基準V-3 /2008/04付則1 ,情報処理装置等電波障害自主規制協議会, (2008)等
- 2) Rockway J.W., Logan J.C., Daniel W.S.T. and Li S.T. : “The MININEC system : Microcomputer Analysis of Wire Antennas”, Artech House,(1988)