

## ユビキタスネットワーク社会における電磁波の可視化とシールドの研究(第3報)

-放射エミッション測定におけるノイズ源推定への遺伝的アルゴリズムの適用について-

光電子科 電子スタッフ 吹原祐子 長谷川茂 田中孝彦

## Study on Visualization and Shield Method of Electromagnetic Wave in the Ubiquitous Network Society(3rd Report)

- Application of the Genetic Algorithm to Search Radiated Noise Source in CISPR Measurement System -

Yuko Fukihara, Shigeru Hasegawa and Norihiko Tanaka

It is important to search and find the noise sources to reduce the noise radiated from an electronic equipment on the EMC countermeasures. The method of searching for the noise sources using CISPR emission measurement system has been studied. In this report, the Genetic Algorithm (GA) was applied to search them since the GA is applicable to a complex optimization problem. The search simulation by using the GA was examined under the limited conditions of one noise source and 2-dimension search area, and the search area of GA processing was changed to two phases. The GA parameter, such as the crossover rate and the mutation rate, was appropriately decided for computer simulation. As a result, it is shown that the noise source was found with estimated accuracy of the position deviation 3 cm and search time in the GA procedure was shortened.

## 1. はじめに

半導体技術の飛躍的な技術進歩に伴う電子機器の高速動作化と軽薄短小化により、電子機器から放射される不要ノイズの問題が深刻化している。不要ノイズは他の電子機器の動作状態に悪影響となるおそれがあるため、日本を始め主要国では不要ノイズの強さに関する規制値を定めている。そのため電子機器の製品開発では、EMC(電磁環境適合性)問題は避けては通れない課題となっている。

しかし、製品開発において不要ノイズを規格値以下に抑えることは非常に難しく、その対策のため時に膨大な時間と費用、労力が必要となる。これはノイズ発生源の特定が困難であることが大きな理由である。そのため、電子機器のノイズ源推定法が確立されれば、EMC対策の作業効率化に向けて有効な手段となり得る。

ノイズ源の推定には、プローブを使用する近傍界測定法や、複数のアンテナを使用する遠方界測定法など既に様々な手法がある<sup>1)</sup>。本研究では、当センター既存のCISPR(国際無線障害特別委員会)測定システムを使用し、放射エミッション測定で得られる

データをもとにノイズ源の位置推定を行う方法について検討している<sup>2)</sup>。本報では遺伝的アルゴリズムを適用し、コンピュータシミュレーションによるノイズ源の位置推定に取り組んだので報告する。

## 2. 方法

### 2.1 推定モデル

図1は、当センターの放射エミッション測定用の電波暗室(3m法)の模式図である。床面の一部が金属で、他の5面に抵抗体とフェライト複合体の電波吸収体が施工された5面電波暗室である。そのためアンテナでは試料から放射される直接波だけでなく、床面での反射波も受信される。

この時の水平電界  $E_h$  は式(1)で近似される<sup>3)</sup>。式の第1項目はノイズ源の直接波を、第2項目は床面の反射波による寄与を意味している。ここで  $J_{hl}$ 、 $J_{hi}$  はそれぞれ水平電界に寄与する電流値、 $D_{hl}$ 、 $D_{hi}$  は受信アンテナ水平時の指向性、 $R$ 、 $r$  はノイズ源と受信アンテナの距離、 $k$  は波数である。

また同様に、垂直電界  $E_v$  は式(2)で近似される。

ここで  $J_{vl}$ ,  $J_{vi}$  はそれぞれ垂直電界に寄与する電流値、 $D_{vl}$ ,  $D_{vi}$  は受信アンテナ垂直時の指向性である。

$$E_h = \left| \frac{J_{hl} \cdot \exp(-jkR) \cdot D_{hl}}{R} + \frac{J_{hi} \cdot \exp(-jkr)}{r} \right| \dots (1)$$

$$E_v = \left| \frac{J_{vl} \cdot \exp(-jkR) \cdot D_{vl}}{R} + \frac{J_{vi} \cdot \exp(-jkr)}{r} \right| \dots (2)$$

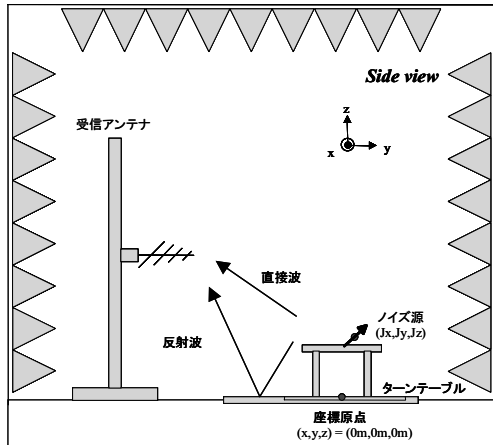


図1 電波暗室の模式図

## 2.2 対象空間とノイズ源

回転テーブル上の1点(座標:  $x, y, z$ )に電流値( $J_x, J_y, J_z$ )を持つノイズ源が1個あると想定し、式(1)(2)より受信強度(水平電界  $E_h$ 、垂直電界  $E_v$ )を算出する。これを推定データとする。

また、実世界において回転テーブル上の1点(座標:  $X, Y, Z$ )に電流値( $J_X, J_Y, J_Z$ )を持つノイズ源を1個設置し、受信強度(水平電界  $E_h$ 、垂直電界  $E_v$ )を測定する。これを設定データとする。

本研究では、推定データと設定データを比較し、これらが合致するよう座標  $(x, y, z)$  および電流値  $(J_x, J_y, J_z)$  を調整することで、ノイズ源の位置推定を行う。推定領域は回転テーブル上の  $xy$  平面(0.72m × 0.72m)とし、設定データと推定データはともに、受信アンテナ測定高さ1~4m(1m間隔)、測定角度0~345度(15度間隔)から得られる  $E_h$ 、 $E_v$  各96点、計192点の受信強度値から成る。

ノイズ源推定の分解能を得るために、乾電池駆動の916MHz微弱無線送信用モジュールに半波長ダイポールアンテナを取り付けた試料を製作した。この試料を回転テーブル上の中央( $x=0, y=0, z=0.85$ )に設置

し、上記の方法で192点の受信強度を測定した。これを基準位置データとする。測定は放射エミッション測定系300~1000MHz用ログペリオディックアンテナを使用し、アンテナで受信した電気信号は、プリアンプを介しスペクトラムアナライザに入力した。

この試料を  $x=0 \sim 0.3$  m(0.05m間隔)の各位置で同様に受信強度を測定し、基準位置データに対する差の総和を算出した。差の総和とは、測定した各192点の差分をすべて足し合わせたものである。その結果を図2に示す。

図2より、ノイズ源の基準位置からの変位量が、受信強度の差の総和に比例することが確認できた。これより、2つのデータを比較する場合、受信強度の差の総和が、ノイズ源の位置推定の指標になり得ることが分かった。また、実測では1dB(受信強度の差の総和=192)程度の不確かさが生じるため、ノイズ源の位置推定分解能は約0.025mと考えられる。

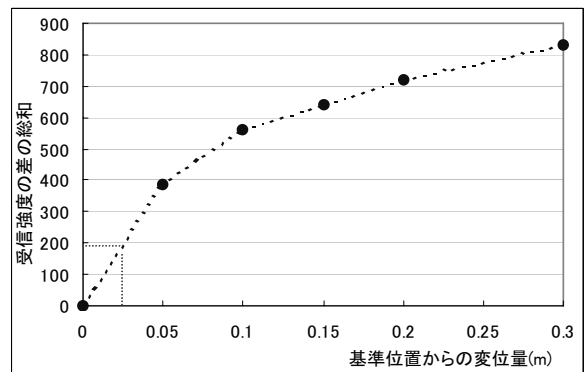


図2 ノイズ源の位置変位量と受信強度の差の総和の関係

## 2.3 遺伝的アルゴリズム(GA)の適用

### 2.3.1 GAとは

ノイズ源の位置推定には遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)の手法を導入する。GAとは、最適化を高速に行うための探索アルゴリズムの一種であり<sup>4,5)</sup>、生物進化の機構を工学的にモデル化し、解を「環境への適応度」と読み換えることによって最適化問題などの難しい問題を解くための手法である。GAには、対象とする問題を「遺伝子」として、求めた解の優秀さを「適応度」として表現することで様々な問題に適用できる利点がある。またパラメータ値を適切に設定することで実用時間内の進

化・推定終了が期待できると考え、導入することとした。

### 2.3.2 GA遺伝子の設計

GA遺伝子は、以下のように設計する。遺伝子の1個体長はノイズ源推定を行う位置座標数とし、個体を構成する遺伝子座は、位置座標におけるノイズ源の有無を0,1にて表現する。また遺伝子座を構成する1染色体は電流値( $J_x, J_y, J_z$ )を実数で持つこととし、1集団の個体数(N)は、個体長の1/2程度とした。評価基準となる適応度は、設定データと推定データの差の総和とした。これは、前述した受信強度の差の総和と同じ意味を持ち、推定位置の誤り具合を示す指標となる。

### 2.3.3 GAパラメータの設計

GAパラメータの方式および値は、以下のように設計する。GA操作における選択は、ルーレット方式およびトーナメント方式とした。交叉は2点交叉を施し、交叉率( $P_c$ )を0.5,0.7,1.0とした。また突然変異は遺伝子座を対立遺伝子に置き換える一般的な方法を施し、突然変異率( $P_m$ )を0.05,0.2,0.7とした。また本問題に適するよう、一般的な方法に加え、遺伝子座ではなく染色体が変異するものや、遺伝子座の位置が移動するものなど数種類の突然変異を取り入れた方法も施し、合わせて比較することとした。

以上の数値と方式を変えて、最適なGAパラメータ値を決定していく。

### 2.3.4 GAアルゴリズム

本手法の有効性を検証するために、あらかじめ設定したノイズ源モデルを対象に設定データを用意し、ノイズ源の位置推定を行う。そして、推定結果が設定値と合致するか評価する。

0世代である初期集団への電流値( $J_x, J_y, J_z$ )は、-1~+1(0.125 間隔の計17個)で表現し、全ての位置座標点でランダムに与える。また推定対象空間(0.72m×0.72m)で0.025mの分解能を得るためには、推定の位置座標はxy平面に計1089点(33×33点:1区間0.0225m)配置する必要がある。しかしこれでは、計算量は最大 $(17^3)^{33 \times 33}$ と膨大な数になり、莫大なコンピュータ負荷を要する。そこで、2段階推定を採用する。

2段階推定とは、1段階目に0.72m×0.72mを計81点(9×9点:1区間0.09m)でノイズ源位置推定を実行し、解の収束後、新たな測定空間を作り推定を再開する方法である。2段階目の測定空間は、1段階目で判定したノイズ源の重心を原点とし、0.18m×0.18mに計81点(9×9点:1区間0.0225m)にて配置する。2段階推定を採用することにより、分解能を低下させることなく、計算量は最大 $(17^3)^{9 \times 9} \times 2$ と大幅に減少させることが可能となる。図3にGAアルゴリズムを示す。

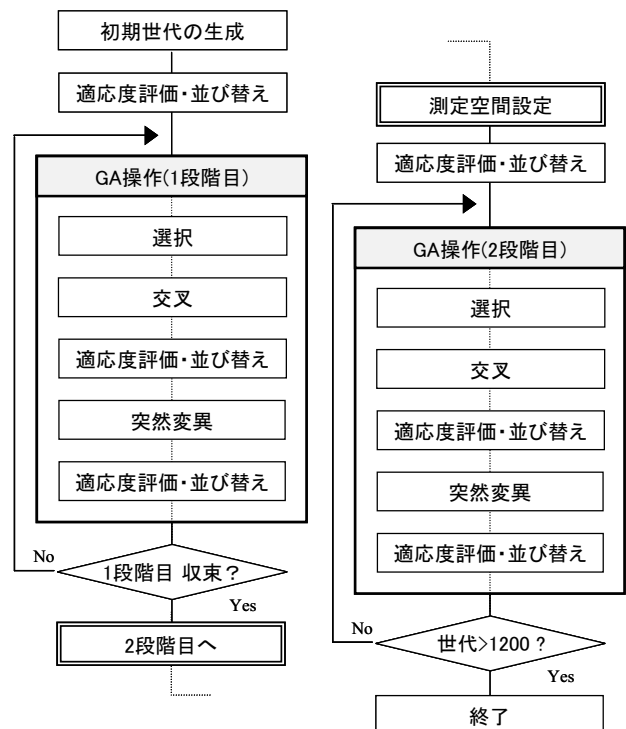


図3 GAアルゴリズム(2段階推定)

## 3. 結果

### 3.1 最適パラメータの決定

シミュレーションを行うため、座標点上の1点( $x=-0.27, y=0.27, z=1.37$ )を設定データに設定した。そして各GAパラメータ条件にて、1段階目の推定空間でのノイズ源推定を実行し、最適パラメータを決定した。結果を表1に示す。

表1 GA/パラメータの決定

パラメータ	方式および値
個体数 (N)	50
個体長	81
交叉	2点交叉
交叉率 (Pc)	0.5
突然変異率 (Pm)	0.2
選択	トーナメント方式
選択率 (Ps)	0.3
エリート個体数	2

選択では、今回の問題にはルーレット方式に比べトーナメント方式の方が収束が早い傾向にあった。これは、適応度に応じたルーレット盤を製作する際、個体集団の適応度に極端な差が生じる場合、もしくは他の個体に対して非常に高い適応度をもつ個体が存在する場合に、適応度の高い特定個体を選択される割合が高まり急速に母集団内に広がるため、場合によっては集団全体の多様性が減少し、集団全体が局所解に収束しやすくなるためと思われる。

交叉率(Pc)は、今回変化させた値による差は見られなかったため、0.5を採用する事とした。また突然変異率(Pm)は図4に示すように、値が小さすぎると収束が遅く、大きすぎると全く収束しない傾向が見られた。これは集団全体の初期化とほぼ同じ意味になるためと思われ、今回の問題では0.2が最適であった。また突然変異に数種類の変異方法を取り入れることで、局所解からの脱出に寄与することが確認できた。

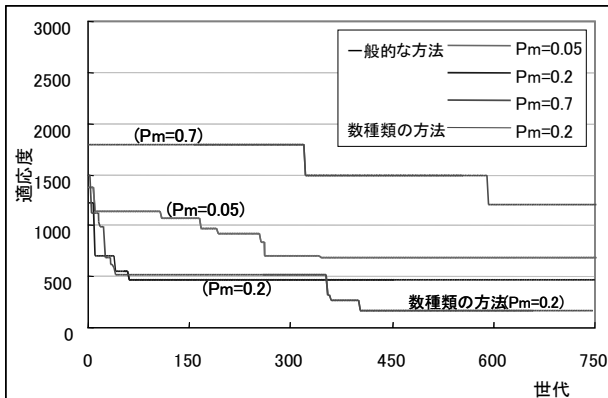


図4 GA パラメータ値の決定(突然変異率による検討)

### 3.2 最適条件での推定例

最適条件のもと、ノイズ源推定を実行した。設定データは1段階目の座標点上

A(x=-0.27,y=0.27,z=1.37)と、座標点間 B(x=-0.225,y=-0.315,z=1.37)に設定し、各10回ずつ実行した。推定は1200世代で終了することとした。結果を図5,6および表2に示す。

図中のグラフはノイズ源の位置推定の収束度合である適応度を示す。また太い丸印は設定したノイズ源位置を示し、その他の丸印は、推定により求めた位置を示す。丸中の数字は、10回の実行により、その位置をノイズ源として推定した回数を示している。

この実行における正解率と推定誤差を表2に示す。表中の正解率は、設定した座標と推定により求めた座標が一致した時の割合を表している。またカッコ内は、設定した座標の±1区間内に推定した時の割合を表している。

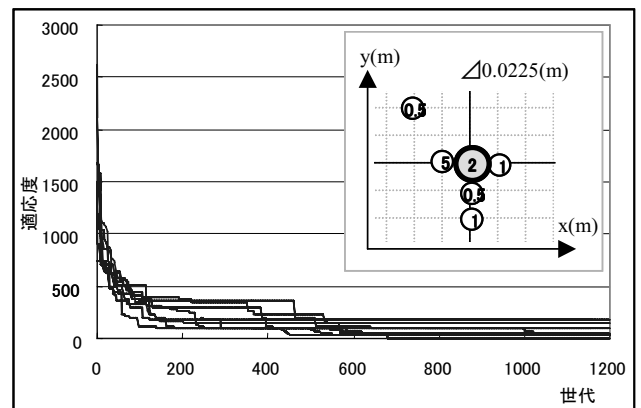


図5 設定データAの推定結果

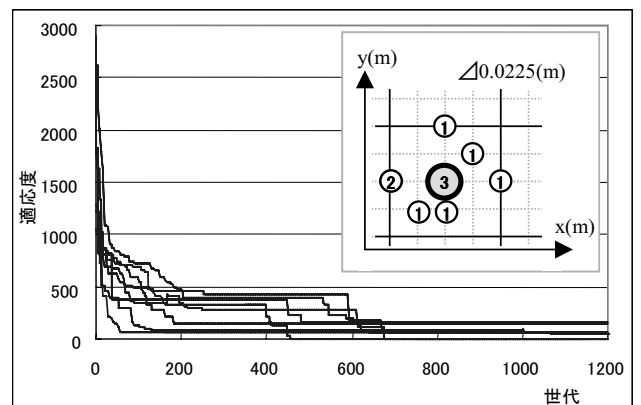


図6 設定データBの推定結果

表 2 正解率と推定誤差(10回施行)

	推定データ A	推定データ B
正解率(%)	20 (90)	30 (60)
誤差平均(cm)	2.03	2.66
標準偏差(cm)	1.28	1.99

これらより、どちらのデータも、設定した座標と推定結果が一致する正解率は20%程度と低いものの約 2.7cm 程度の誤差範囲で正解付近に推定することができ、各パラメータ値が適切に設定できたことが確認できた。また本実験により、収束する世代数は実行毎に異なった。これは試行の度に初期設定が異なることや、選択・淘汰・交叉・突然変異がすべてランダムに発生するため、ノイズ源の推定過程に多様性があるためである。概ね約 1000 世代で収束が完了することが分かった。

また、1 段階目の測定空間(0.72m×0.72m)に配置する位置座標の間隔に対し、50 世代の進化に要した時間を図 7 に示す。今回の推定では 1 段階目は 1 区間 0.09m であり約 40 秒である。それに対し、2 段階推定を採用せずに、最初から 1 区間 0.0225m で推定した場合、50 世代の進化に約 840 秒かかることが分かる。これより今回提案した 2 段階推定法が、推定処理時間の短縮に有効であるといえる。

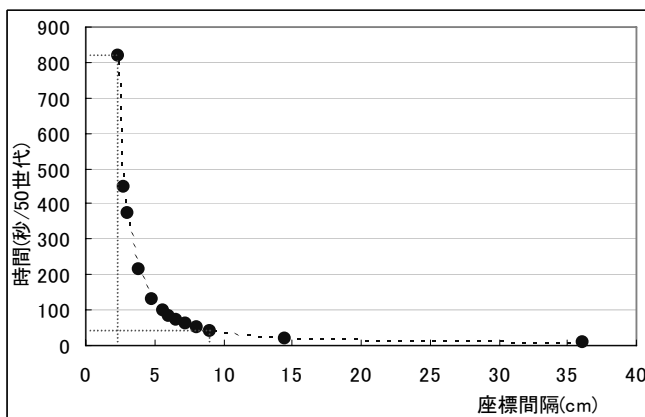


図 7 座標間隔と計算時間(/50 世代)

#### 4. まとめ

既存の CISPR 放射エミッション測定系を使用したノイズ源推定を目指し、遺伝的アルゴリズムを適用した手法を試みた。

ノイズ源 1 個、推定対象空間は xy 平面と限定した条件のもと、推定座標点における電流値を染色体として遺伝子を設計した。設定データと推定データの差の総和を適応度とし、交叉率や突然変異率などの GA パラメータをシミュレーションにより適切に決定した。また、最初から細かい分解能で推定するのではなく、推定対象空間の区間分割を 2 段階に切り替えて推定することにより、ノイズ源位置の推定時間を約 1/10 に短縮することができた。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたりご指導を頂いた仙台地域知的クラスター創成事業の北吉均氏、および静岡大学電子工学研究所杉浦敏文氏に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 石田康弘他：CISPR 測定系を用いた放射妨害波源の可視化、電子情報通信学会論文誌、EMCJ2000-13、19-24 (2000)
- 2) 吹原祐子他：ユビキタスネット社会における電磁波の可視化とシールドの研究-放射エミッション測定におけるノイズ源可視化への取組み-、静岡県浜松工業技術センター研究報告、17、46-47 (2007)
- 3) 清水康敬他：電磁波の吸収と遮蔽、450-453、日経技術図書株式会社 (1989)
- 4) 伊庭斉志：進化論的計算手法、株式会社オーム社 (2005)
- 5) 湊淳他：シミュレーテッドアニーリング法を用いた座席決定アルゴリズムの開発、計測自動制御学会論文集、Vol132、No7、1129-1134 (1996)