

波源モデル化法を用いた遠方界推定の多数決判定法による精度改善

松尾 紀幸[†] 桑原 伸夫^{†a)} 川畑 将人^{††}

Improvement of Accuracy Using Majority Decision for Far Field Estimation by Source Modeling Method

Noriyuki MATSUO[†], Nobuo KUWABARA^{†a)}, and Masato KAWABATA^{††}

あらまし 情報技術装置から放射される電磁界は、通常、10 m 距離で測定を行うが、このための測定設備は非常に高価であるので、波源モデル化法を用いて装置近傍の電磁界分布から 10 m 距離の最大放射電磁界を推定する方法が研究されている。しかしながら、この方法は近傍界の振幅情報のみを使用しているため、ある条件下では大きな推定誤差を生じる問題点があった。本論文では、推定誤差の発生する原因を調査して精度の改善方法について検討を行っている。調査の結果、推定値は推定ごとに異なるが、誤差が小さい値が得られる確率が高く、10 回の推定を行い、その推定値の分布から標準偏差の範囲内の推定値を使用すれば誤差の大きな推定値をほとんど除くことができることが分かった。そこで、この方法を模擬機器から放射される電磁界の推定に適用したところ、解析値と推定値の最大偏差を 18 dB から 5 dB に減少させることができた。また、この方法を PC から放射される電磁界の推定に適用したところ、測定値と推定値の最大偏差を 4 dB から 3 dB に減少させることができた。

キーワード CISPR, 放射妨害波, 波源モデル, 遠方界推定

1. ま え が き

電子技術の急速な発達によって、情報技術装置 (ITE: Information Technology Equipment) から放射される電磁妨害波が無線通信の動作などに影響を与えている。無線妨害問題に対応するために、CISPR (International Special Committee on Radio Interference) は ITE から不要に放射される妨害波の限度値と測定方法を定めて発行している (以下 CISPR 規格と呼ぶ) [1]。そして、ヨーロッパをはじめとする各国は、この規格に準拠した規制を実施している [2], [3]。

CISPR 規格によれば、供試装置 (EUT: Equipment Under Test) から 10 m 距離において放射電界強度の最大値 (以下単に妨害波と呼ぶ) を測定しなければならない。この測定にはオープンサイトか大型電波暗

室を使用するが、大型電波暗室は非常に高価であり、オープンサイトでは周囲のノイズの影響があり都市部で測定を行うことは困難である。そこで、例えば 3 m といった EUT 近傍の電磁界分布から 10 m 距離での妨害波を推定する方法が研究されている [4] ~ [7]。

その方法の一つとして、伝搬距離 r に比例して電界強度が減少すると仮定して推定する方法がある (以下 $1/r$ 法と呼ぶ)。しかしながら、10 m 距離での妨害波と 3 m 距離での妨害波の間にこの関係が成り立つとは限らないことが報告されている [8] ~ [10]。特に、文献 [10] は、その理由として、EUT の放射指向特性、反射波と直接波の伝搬距離の違いによる減衰特性と位相の差を指摘している。

CISPR 規格に従った試験では、これらの原因によって発生する誤差を避けることはできないが、これらの要因を考慮した上で EUT 近傍の電界分布より 10 m 距離の妨害波を高い精度で推定する方法として、EUT を波源でモデル化し、この波源モデルを用いて 10 m 距離の妨害波を推定する方法 (以下波源モデル化法と呼ぶ) が提案されている [4], [6]。

文献 [4] で報告されている方法は 3 m 距離における電界分布より EUT を波源でモデル化しているが、モ

[†] 九州工業大学大学院工学研究院電気電子工学研究系, 北九州市
Department of Electrical Engineering and Electronics,
Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu-shi, 804-8550
Japan

^{††} 福岡県工業技術センター, 北九州市
Fukuoka Industrial Technology Center, Kitakyushu-shi,
807-0831 Japan

a) E-mail: kuwabara.nobuo@buddy.elcs.kyutech.ac.jp

デル化に必要な電界の振幅情報と位相情報のうち、測定が可能な振幅情報のみを使用してモデル化を実施しているため、いつも正しく EUT をモデル化できるとは限らない問題点がある。例えば、文献 [5] で報告されている EUT として模擬機器を用いた事例では、一部の周波数において、解析値と推定値との間に 18 dB 以上の偏差が生じている。そのため、模擬機器を用いた事例においても精度良く妨害波レベルを推定する方法の実現が求められている。

本論文では、波源モデル化法による 10 m 距離の妨害波推定精度改善方法について検討を行っている。まず、模擬機器から放射される電界強度解析値を対象に、EUT の波源モデル化を複数回実施し、その結果得られる遠方界推定値の分布を調査して、この分布より局所解を除外する方法を提案している。次に、この方法を 10 m 距離の妨害波推定に適用して、解析値と推定値を比較することにより本方法の評価を行っている。最後に、実際の機器からの妨害波推定にこの方法を適用して実用性を評価している。

2. 波源モデル化法による妨害波推定

図 1 に波源モデル化法による妨害波推定方法を示す。この方法では、放射妨害波測定に使用する床面が金属の電波暗室 (5 面暗室) またはそれに準ずるサイトにおいて、はじめに、EUT 近傍の電界強度分布を測定する。次に、EUT を電流源 \vec{J}_n によってモデル化する。最後に、10 m 距離における電界強度を式 (1) により求める。

$$\vec{E} = \sum_{n=1}^N \left(\frac{\vec{J}_n e^{-jkr_n}}{r_n} + \frac{\vec{J}'_n e^{-jkr'_n}}{r'_n} \right) \quad (1)$$

ここで、 \vec{E} は推定された電界のベクトルであり、 \vec{J}_n は電流源のベクトル、 N は EUT を表現する波源数、 r_n は波源と観測点との間の距離、そして、 k は波数である。式 (1) の第 1 項は、波源からの放射を表して、

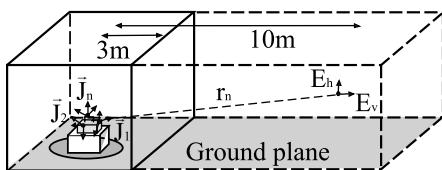


図 1 波源モデル化法による妨害波推定方法
Fig. 1 Method of estimating disturbance level at 10 m distance by source modeling.

第 2 項は図 1 に示す金属性のグラウンド面 (Ground plane) に対する鏡像波源からの放射を表している。

式 (1) を用いて、10 m 距離における高さ 1~4 m、角度 0~360 度の電界強度を計算して、その最大値を妨害波とする。

なお、本論文では EUT 近傍の電界分布として、3 m 距離の電界分布を使用している。

2.1 波源モデル化のアルゴリズム

波源モデル化 [4], [5] では、まず、3 m 距離の電界強度分布を測定して、その結果を用いてモデル化を実施する。図 2 に波源モデル化のアルゴリズムを示す。

波源モデル化の手法は以下のとおりである。

(1) まずはじめに 3 m 距離での電界強度の測定データを入力する。

(2) 次に、EUT が存在する範囲に乱数を用いて電流源を配置し 3 m 距離の電界強度分布を求める。なお、本論文では、EUT が存在する範囲として、グラウンド面上 0.8 m の 0.6 m (縦) × 0.6 m (横) × 1 m (高さ) の空間を考えている。電流ベクトルの初期値については x, y, z の各成分の実数部、虚数部を $-1 \sim 1$ の範囲で乱数を用いて設定している。

(3) 電界強度分布測定値と上記解析値の偏差より波源の補正值を求め、あらかじめ定めた回数繰返し計算を行い波源位置と電流ベクトル値を決定する。これを計算回数 (Calculation number) と呼ぶ。

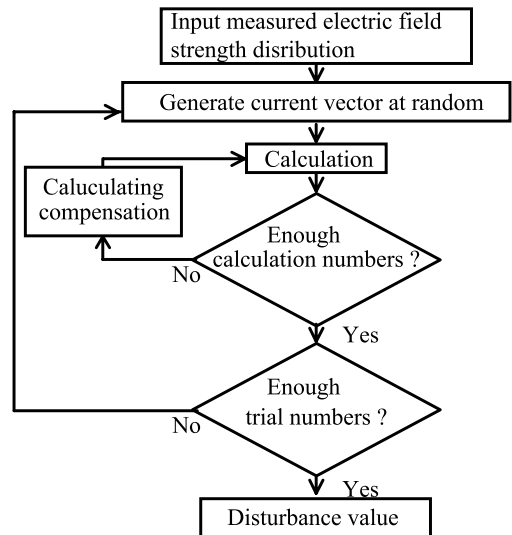


図 2 波源モデル化のアルゴリズム
Fig. 2 Algorithm of source modeling method.

(4) 上記(2)と(3)を最初に与える電流源の初期値を変化させて一定回数繰り返し、偏差が最も小さい値を波源モデルとする．これを試行回数 (Trial number) と呼ぶ．

3. 模擬機器を用いた評価モデル

推定法の評価には、測定値を使用することも考えられるが、解析値は測定設備に起因する誤差を含まないので、本論文では解析値を使用することとした．解析では、EUTとして模擬機器 (Imitation equipment), 受信アンテナとしてパイログアンテナ (Bilog-antenna) を使用し、模擬機器とパイログアンテナをワイヤグリッドでモデル化して受信レベルの解析を行った．

検討に使用した模擬機器の外観を図3に示す．模擬機器は 150 MHz 付近で妨害波の解析値と推定値に大きな偏差が現れることが報告されており [5], [9], 推定精度の改善効果を評価するには適したサンプルである．模擬機器は、図3に示すように、36 cm (縦) × 48 cm (横) × 10 cm (高さ) の金属性の箱 (Metallic box) で、その内部にバッテリー駆動の O/E 変換器を、上部に長さ 20 cm 高さ 5 cm の電磁界放射用のハーフループアンテナ (Half loop antenna) を配置した構造になっている [11]．この模擬機器は信号を光ファイバで供給するため外部に同軸ケーブル等の電磁界を乱すものがないので、放射電磁界を解析で求めることが可能である [9]．

解析では図4に示すように、半無限空間中に EUT と受信アンテナを配置して受信アンテナの終端 (R_3) に現れる電圧を受信レベルとして評価を行った．図中で EUT は図3に示す模擬機器を示しており、黒丸は信号源の位置を白丸は終端の位置の位置を示している．電圧源 E と抵抗 R_1 はループアンテナの信号源 (Signal source) を R_2 は終端 (Termination) を示している．本論文では R_1, R_2 として 50Ω を使用し、信号源のレベルは周波数ごとに O/E 変換器出力の実測値より求めた値を使用した．また、金属性の箱とハーフループアンテナは、セグメント長 20 mm, ワイヤ径 1.5 mm のワイヤでモデル化している．

受信アンテナは長さ 1.31 m, 最大エレメント長 1.39 m のパイログアンテナ (Chase CBL6111) を使用し、実測した寸法に基づいて各エレメントをセグメント長 25 ~ 30 mm のワイヤでモデル化している．ワイヤ径は実測結果に基づいて、25.4 ~ 2.4 mm の範囲で設定している．図4でアンテナ部分の黒丸は受信

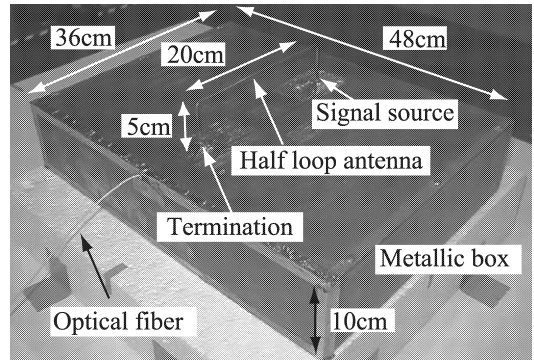


図3 模擬機器の外観
Fig. 3 External view of imitated equipment.

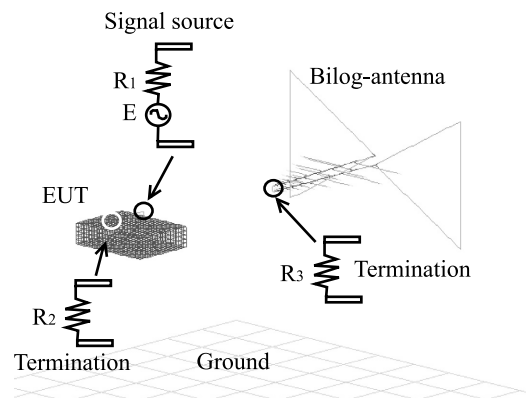


図4 放射電界強度の解析モデル
Fig. 4 Analysis model of radiated field strength.

アンテナの終端抵抗 (R_3) を示しており、本論文では R_3 として 50Ω を使用している．

なお、解析にはモーメント法の汎用解析ツールである NEC2 [12] を使用した．

4. 多数決判定法による妨害波推定

2. に示す方法を用いて 10 m 距離の妨害波を推定すると、大きな誤差が生じる場合がある [5]．この理由は、電界には振幅成分と位相成分があるが、2. で述べている方法は、位相成分を含まない電界強度分布より波源モデル化を行っているため、3 m 距離の電界の振幅成分は正しく模擬できるが、位相成分は模擬できない場合があるためと考えられる．10 m 距離の電界強度は 3 m 距離の電界の振幅成分と位相成分の両方の影響を受けるため、正しく 10 m 距離の電界強度を推定できる場合と推定できない場合が生じる．本論文では前者を最適解 (Expected solution), 後者を局所

解 (Local minimum solution) と呼ぶ。ここで、解は 10 m 距離の地上高 1 ~ 4 m における水平または垂直偏波の電界強度最大値の推定値を意味している。推定値から局所解を除くことができれば推定精度を改善させることができる。本章ではこの方法を検討する。

4.1 解析値と推定値の偏差の分布

図 4 に示す評価モデルを用いて妨害波の推定を 100 回実施 (以下これを推定回数 (Estimation number) と呼ぶ) して解析値と比較を行った。推定値と解析値の偏差の分布を図 5、図 6 に示す。図 5 は水平偏波の結果を、図 6 は垂直偏波の結果を示している。検討を行った周波数は文献 [5] で解析値と推定値の間に大きな偏差が発生していた 150 MHz である。図で横軸は 10 m 距離での妨害波の解析値と推定値の偏差を、縦軸は 100 回の推定回数のうち何%がその偏差の範囲に含まれているかを示している。ここで、偏差の範囲は、例えば、図 5 で 3 dB の場合について言えば、偏差 D_n が $2.5 \text{ dB} \leq D_n < 3.5 \text{ dB}$ の範囲にある推定値が全体の約 25%であることを示している。

図 5 に示すように、水平偏波の場合については、推定値の偏差が 3 dB を中心とする最適解の集まりと偏差が 12 dB を中心とする局所解の集まりに分類できることを示している。一方、垂直偏波の場合は、図 6 に示すように、偏差は -2 ~ 2 dB の範囲に集中しており、

局所解は存在しないことが分かる。

図 5 に示す結果は、全体の約 80% が最適解であり、残りの 20% が局所解であることを示している。このことは推定値の分布より、その平均値より離れた推定値を取り除き、残った推定値の平均値を推定結果とすることにより、推定精度を改善できることを示している。この方法を本論文では多数決判定法 (Method of majority decision) と呼ぶ。

4.2 局所解の棄却方法

これまでの検討により、推定値の平均値より離れた推定値を棄却することにより、局所解を取り除くことができ、推定精度が改善できることを示したが、実際には、評価モデルでの解析値に当たる真値が不明であるので、推定値を棄却するための判定条件が必要である。

図 7 に 10 m 距離での妨害波推定値の累積百分率を示す。図中で点線の楕円で囲まれた範囲が図 5 に示す局所解に相当する部分である。検討では推定回数を 10 回から 100 回まで変化させて行い、結果を図中の印や印で示している。横軸は偏差を示し、縦軸は累積百分率を示している。検討を行った周波数は図 4 同様に 150 MHz である。このグラフは正規確率紙となっており、図で累積百分率と偏差の関係が直線で表される部分は、この分布が正規分布的に変化していることを示している。この場合、平均値は累積百分率が 50% の値、標準偏差は累積百分率が約 84% と約 16% の値と

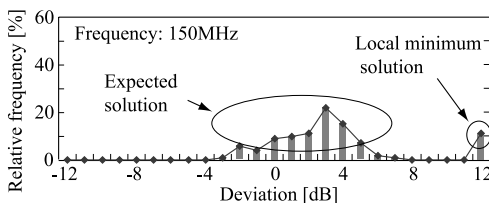


図 5 解析値と推定値の偏差の分布 水平偏波

Fig. 5 Distribution of deviation from calculation value to estimation value for horizontal polarization.

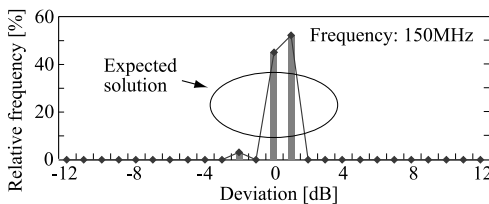


図 6 解析値と推定値の偏差の分布 垂直偏波

Fig. 6 Distribution of deviation from calculation value to estimation value for vertical polarization.

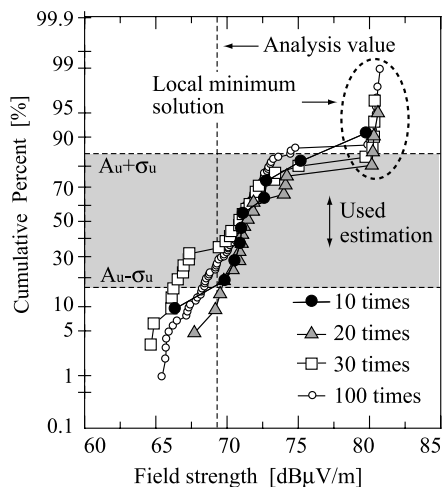


図 7 150 MHz における偏差の累積発生頻度

Fig. 7 Cumulative probability distribution of deviation at 150 MHz.

なる。

図に示すように、解析値に近い値は標準偏差の範囲内である 16～84% に入っており、この部分では、分布はほぼ直線的に変化している。また、図 5 で示す局所解に対応する値は、ほとんどが、累積百分率が 84% より大きな値となっている。つまり、分布が正規分布的に変化すると仮定して、図中の網掛け部分である標準偏差の範囲内の値を使用すれば、局所解を除くことができる可能性が高いことが分かる。

よって、各推定で得られた 10 m 距離における妨害波を E_n とすれば、これが式 (2) の関係を満たす推定値のみを選べばよいことになる。

$$A_u - \sigma_u < E_n < A_u + \sigma_u \quad (2)$$

ここで、 A_u は推定値の平均値である。 σ_u は標準偏差で、式 (3) で与えられる。

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (E_{ku} - A_u)^2}{N}} \quad (u = h, v) \quad (3)$$

ここで、 N は推定回数、 E_{ku} は推定値であり、添字 u は推定を行った電界の偏波（水平または垂直偏波）を示している。式 (2)、(3) には真値は含まれていない

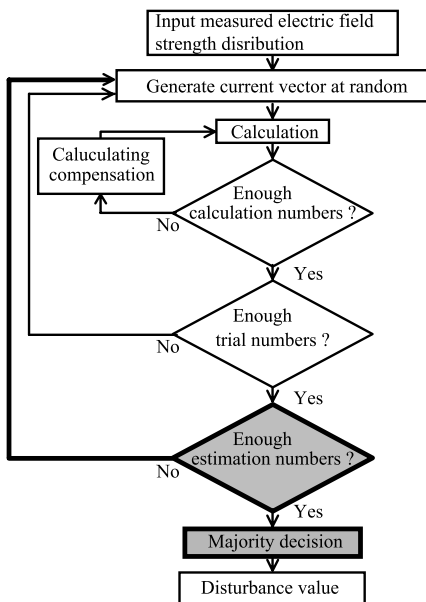


図 8 多数決判定法を追加した波源モデル化のアルゴリズム

Fig. 8 Algorithm of source modeling method adding majority decision.

で、真値が分からなくても局所解を棄却することが可能である。

多数決判定法を追加した波源モデル化のアルゴリズムを図 8 に示す。従来の手順に網掛けの部分追加され、波源となる電流源の計算、電流源の初期値を変更しての試行に加えて、局所解を棄却するために推定を複数回実施する必要がある。多数決判定法では標準偏差の範囲外の推定値を棄却し、残りの推定値の平均を求めて推定結果とする。

5. 多数決判定法による妨害波推定条件

妨害波推定に必要な波源モデル化条件については既に報告がされている [5], [13]。しかし、多数決判定法を用いた場合にこの条件が適用できるかどうかは明らかになっていない。そこで、推定条件の検討を行った。なお、推定条件のうち、計算回数と試行回数については、図 8 に示すアルゴリズムにおいて新たに追加した部分の内側にあるため、推定方法が異なっても大きな影響を受けないと考えられるので、文献 [5] に従って、それぞれ 150 回、120 回とした。

5.1 推定回数の決定

推定回数は多ければ多いほど精度は改善されるが、推定に要する時間が増加する。そこで、局所解を分離可能な推定回数について検討を行った。図 7 に推定回数を 10 回から 100 回まで変化させたときの分布の変化を示す。図に示すように、推定回数を変化させても各分布の偏差は 2 dB 程度であるので、計算時間の節約のため、本論文では推定回数を 10 回とした。

5.2 電界強度分布測定範囲の検討

図 9 に 10 m 距離における妨害波レベルに寄与する 3 m 距離における電界の範囲を示す。図に示すように、3 m 距離の高さ 0.2～2 m までの電界強度が 10 m 距離

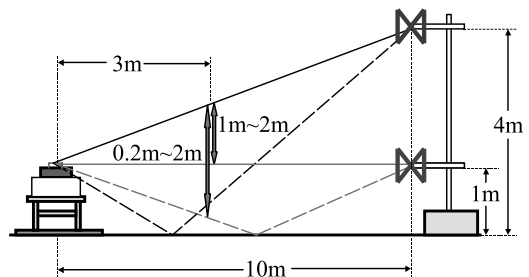


図 9 10 m 距離における妨害波レベルの寄与範囲

Fig. 9 Area contributing to disturbance level at 10 m distance.

の電界強度に寄与しており、高さ 0.2~2 m までの電界分布を使用した場合の方が、1~4 m までの電界分布を使用した場合に比べて推定精度が良くなることが報告されている [5]。実際の測定では、高さ 0.2 m の電界強度を正確に測定することは困難であるが、受信アンテナは有効開口面内の電界を測定することが知られており、本論文では、受信アンテナを考慮した評価モデルを使用していることから、高さ 1~2 m の電界強度分布を使用することにした。

本論文では、既に報告されている電界強度分布の測定条件を考慮して、高さ方向については 1 m から 2 m まで 0.2 m ステップで変化させ、角度方向は 0 度から 345 度まで 15 度おきに变化させて得た電界強度分布データを推定に使用している。

5.3 波源数の検討

従来、波源モデル化に使用してきた各周波数における波源数は、使用する周波数が 30~50 MHz では 30 MHz での条件を、50~150 MHz では 100 MHz での条件を使用している [13]。つまり、100 MHz ごとに波源モデル化の条件を変化させている。本論文では、30~50 MHz では 40 MHz での条件を使用し、それ以上については従来と同様として、波源数の検討を行った。

検討結果を図 10、図 11 に示す。図 10 は水平偏波の検討結果を示している。図で横軸は波源数、縦軸は 10 m 距離における妨害波の解析値と推定値の偏差である。図に示すように、100 MHz、200 MHz を除いては、波源数を 4 以上にすれば、偏差は 1 dB 以内となっていることが分かる。

100 MHz と 200 MHz については、波源数を増加させると偏差が大きくなっており、十分に収束しているとはいえないが、EUT のサイズと波長の関係を考慮

すると、低い周波数で多くの波源が必要となる可能性は低い。よって、波源数の問題ではなく、波源モデル化の際に振幅情報のみを使用していることが原因と考えられる。そこで、本検討では偏差が 1 dB である波源数 3~4 を使用することとした。

図 11 は垂直偏波の結果を示している。図より、40 MHz を除いては、波源数が 3 以上であれば、偏差は 1 dB 以内となっていることが分かる。40 MHz においては水平偏波の場合と同様に波源数の問題ではなく振幅情報のみを使用していることが原因と判断でき、波源数を変化させても偏差はほとんど変化しないので、他の周波数と同様に波源数が 3 以上であればよいことが分かる。

図 12 に図 10、図 11 より決定した波源数と従来報告されている波源数 [13] を示す。図で灰色の線は今回決定した波源数を、黒い線は文献 [13] に記載されている波源数を示している。図 12 に示すように、従来法の場合、周波数が増加するにつれて波源数も増加させ

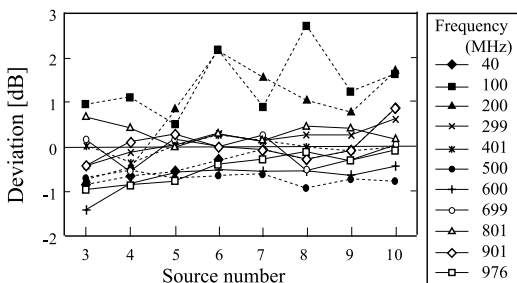


図 10 波源数と偏差の関係—水平偏波
Fig. 10 Relation between source number and deviation — Horizontal polarization.

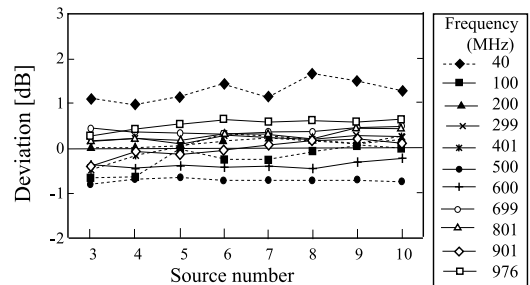


図 11 波源数の検討—垂直偏波
Fig. 11 Relation between source number and deviation — Vertical polarization.

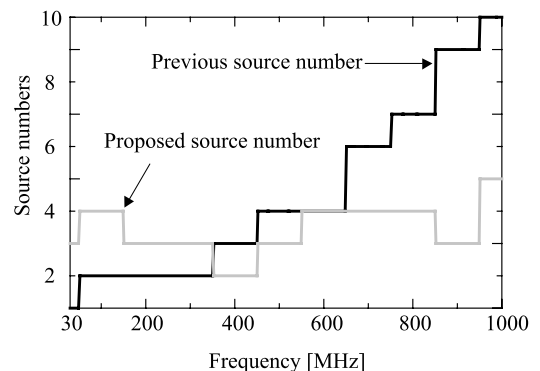


図 12 波源モデル化に使用する波源数の検討結果
Fig. 12 Investigation results of source numbers using source modeling.

ていた。しかし、図 10、図 11 の結果は、周波数が高い場合でも波源数をそれほど増加させる必要がないことを示している。この理由としては、10 回の推定を行いその平均値を使用しているため、各推定の偏差が平均化され、従来偏差が大きかった少ない波源数でも偏差が小さくなったと考えられる。

本論文で提案している方法は、複数回の推定を行うため推定時間は増加するが、波源数が減少する 650 MHz 以上ではその影響が小さくなる。

6. 多数決判定法の評価

図 4 に示す評価モデルに基づいて、多数決判定法を用いて 10 m 距離における妨害波を推定して解析値と比較を行った。評価結果を図 13、図 14 に示す。図 13 は水平偏波の評価結果を、図 14 は垂直偏波の評価結果をそれぞれ示しており、縦軸は 10 m 距離における妨害波の解析値と推定値の偏差を、横軸は周波数を示している。検討を行った周波数は評価対象周波数である 30 ~ 1000 MHz の 401 点である。

図 13 において、1/r 法 (1/r law) は電界強度が距離に反比例すると仮定して求めた結果、灰色の線は従来の波源モデル化法 [5] による推定結果、黒い線は本論文で提案している多数決判定法で求めた推定結果である。図に示すように、従来の方法では最大 18 dB あった解析値との偏差が、多数決判定法を用いることにより、5 dB 以下にすることができる。

また、周波数を変化させたときの推定値の変化が滑らかになっており、従来の方法でも偏差の小さい 400 MHz 以上においても多数決判定法を使用することにより推定精度が改善されていることが分かる。

図 14 においても、1/r 法 (1/r law) は電界強度が距離に反比例すると仮定して求めた結果、灰色の線は従来の波源モデル化法による推定結果 [5]、黒い線は本論文で提案している方法で求めた推定結果である。図に示すように、垂直偏波では水平偏波に比べて従来法と比べて得られた結果に大きな差異はない。この理由としては、垂直偏波の場合は図 6 に示すように局所解がないため、推定を複数回実施して局所解を棄却するメリットがほとんどないためと思われる。

図 14 は模擬機器の場合の結果であり、すべての EUT が模擬機器と類似の放射特性をもつとは限らないので、推定時間を必要としても、本論文で得られた条件下で推定を行う必要がある。

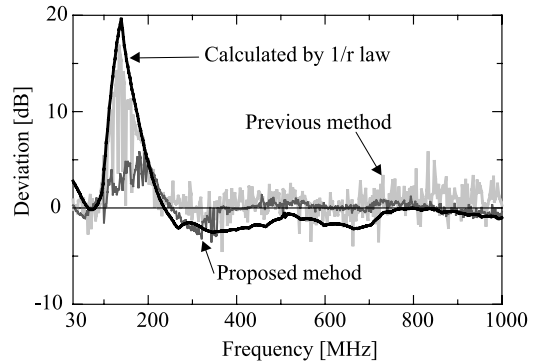


図 13 評価モデルによる多数決判定法を用いた推定結果と他の方法の比較—水平偏波

Fig. 13 Comparison of estimation result by using majority decision method and by other methods for evaluation model — Horizontal polarization.

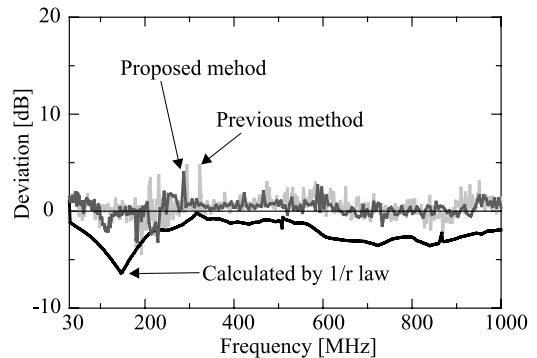


図 14 評価モデルによる多数決判定法を用いた推定結果と他の方法の比較—垂直偏波

Fig. 14 Comparison of estimation result by using majority decision method and by other methods for evaluation model — Vertical polarization.

7. 多数決判定法の実機への適用

本論文で提案している多数決判定法の評価を行うために、PC から放射される妨害波に本法を適用して評価を行った。評価を行った PC を図 15 に示す。図に示すようにこの PC は、本体、ディスプレイ、キーボード、マウスから構成されている。

検討では、まず、この PC から放射される電界強度を測定し、その中よりレベルが高く安定した妨害波を選択して評価を行った。3 m 距離での電界強度分布と 10 m 距離での妨害波は、EMI レシーバを使用して準尖頭値を測定した。また、測定には VCCI の技術基準 [3] を満足する 10 m 距離での妨害波試験が可能な床

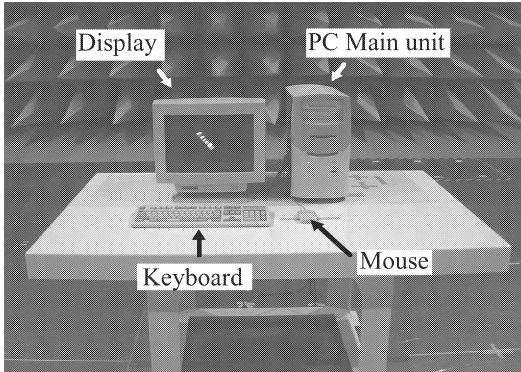


図 15 測定に用いた PC の概観
Fig. 15 Overview of a PC system.

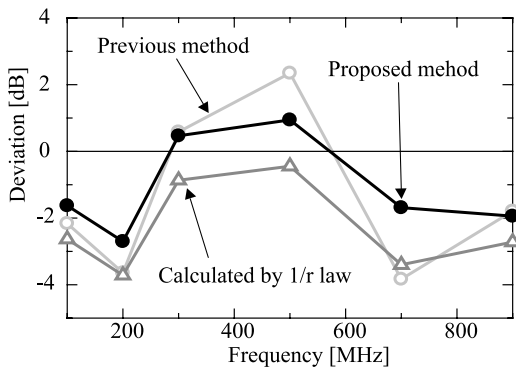


図 16 実機による多数決判定法を用いた推定値と測定値との偏差
Fig. 16 Deviation from estimation result by majority decision method to measured value for actual equipment.

面が金属の大型電波暗室を使用した。

評価結果を図 16 に示す。この図は、推定値と測定値との間の偏差を示している。横軸は周波数でおおむね 100 MHz おきの周波数が選択されている。縦軸は妨害波の測定値と推定値の偏差で、水平偏波と垂直偏波の各周波数における大きい方の測定値と推定値の偏差を示している。図において、黒丸は多数決判定法を使用した結果を、白丸は従来の波源モデル化法 [5] を使用した場合を、三角は 1/r 法を適用した場合の結果を示している。

多数決判定法を用いた推定値の最大偏差は 3 dB であり、1/r 法と従来の波源モデル化法による最大偏差は 4 dB である。模擬機器と比べて 1/r 法や従来の波源モデル化法による偏差が小さい EUT に対しても推定精度が改善している。

これらの結果より、多数決判定法を用いた波源モデル化法は、実際の機器として PC を用いた場合でも有効であることが分かる。

8. む す び

3 m 距離での妨害波測定値と 10 m 距離での妨害波測定値には相関性がないため、波源モデル化法を用いた推定方法が提案されている。しかし、この方法は、測定が可能な電界強度分布のみを使用しているため、局所解が存在し、周波数や EUT によっては大きな推定誤差が発生していた。

本論文では、推定精度を改善するため、局所解が発生する確率を評価し、複数回の推定を行い、標準偏差の範囲から外れる推定値を棄却し、残りの推定値の平均値を推定結果として使用する多数決判定法を提案している。

模擬機器を用いた検討の結果、推定回数は 10 回で十分であり、また、波源モデル化の条件として、従来から使用されている計算回数 150 回と試行回数 120 回に加えて、電界強度分布を取得する範囲として地上高 1~2 m を選択した。更に、波源モデル化に使用する波源数についても検討を行い、650 MHz 以上において、従来報告されている条件より波源数を減らすことが可能であることを示した。

模擬機器を使用した評価モデルに多数決判定法を適用した結果、解析値と推定値の最大偏差を 18 dB から 5 dB に減少させることができた。

最後に、PC を使用して、提案した方法の検証を行った。その結果、多数決判定法を使用することで最大偏差が 4 dB から 3 dB に減少し、提案した方法は、10 m 距離の電界強度の推定に有効であることが分かった。

今後の課題としては、まだ、十分な精度が得られていない、100~400 MHz の誤差が発生する原因の解明と改善法の検討が考えられる。

謝辞 本検討にあたり有益な御助言を賜りました九州工業大学工学部電気工学科桑原研究室の関係各位に深く感謝致します。

文 献

- [1] IEC/CISPR Publication 22, fifth edition, "Information technology equipment — Radio disturbance characteristic — Limits and methods of measurement," April 2005.
- [2] European standard EN 55022, "Information technology equipment — Radio disturbance characteristic — Limits and methods of measurement," 2006.

- [3] <http://www.vcci.or.jp/>
- [4] N. Aoki, M. Kawabata, Y. Ishida, and N. Kuwabara, "Prediction of electric field strength at 10 m distance using emission source finding method," 2004 International Symposium on EMC, vol.1, pp.137-140, Sendai, June 2004.
- [5] Y. Okubo, M. Kawabata, Y. Ishida, and N. Kuwabara, "Improvement of calculation time for estimating electromagnetic disturbance level using emission source modeling method," EMC Europe 2006 International Symposium, PThA-8, pp.657-662, Barcelona, Sept. 2006.
- [6] H. Fan and F. Schlagenhauser, "Investigation of near field data sampling approaches for far field radiation prediction of PCBs by genetic algorithm," 18th International Zurich Symposium on EMC, pp.21-24, Munich, Sept. 2007
- [7] M. Kawabata, Y. Ishida, and N. Kuwabara, "Compensation method to improve prediction results at 10 m distance by EUT modeling using site attenuation," EMC EUROPE 2006 International Symposium, OWeA1-5, pp.23-28, Barcelona, Sept. 2006.
- [8] 島ノ江博之, 宮田邦行, "3 m 法 10 m 法での放射雑音測定との相関性," 信学技報, EMCJ88-23, 1988.
- [9] 松原 亮, 川畑将人, 石田康弘, 桑原伸夫, "放射妨害波測定における測定距離と電界強度の相関関係の模擬波源を用いた検討," 信学論 (B), vol.J87-B, no.4, pp.535-543, April 2004.
- [10] M. Kawabara, Y. Ishida, N. Aoki, and N. Kuwabara, "Investigation of distance dependence of radiated emission test results," 2005 IEEE International Symposium on EMC, vol.2, pp.622-627, Chicago, Aug. 2005.
- [11] 南郷隆裕, 松原 亮, 村川裕基, 桑原伸夫, 徳田正満, "模擬機器の電磁界放射特性と応用法の研究," 信学論 (B), vol.J86-B, no.8, pp.1629-1638, Aug. 2003.
- [12] G.J. Burke and A.J. Poggio, "Numerical electromagnetics code (NEC) method of moments, Part I-III," Lawrence Livermore Laboratory, 1981.
- [13] 寺師 弘, 田中 健, 石田康弘, 徳田正満, 桑原伸夫, "振幅情報のみを用いた電子機器の電磁妨害波源推定条件," 信学論 (B), vol.J87-B, no.2, pp.226-234, Feb. 2004.
(平成 20 年 4 月 3 日受付, 7 月 7 日再受付)



松尾 紀幸

平 18 九工大・工・電気卒・平 19 同大学院博士前期課程在学中。



桑原 伸夫 (正員)

昭 50 静岡大・工・電子卒・昭 52 同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現, NTT)茨城電気通信研究所入所。通信システムの雷防護, 光ファイバの信頼性評価, 通信システムの EMI 評価, EMC における光計測技術等に関する研究・開発に従事。現在, 九工大・工・教授。博士(工学)。電気学会, IEEE 各会員。



川畑 将人 (正員)

平 7 北大・工・電気卒。平 9 同大学院修士課程了。同年川崎重工業(株)入社。平 14 福岡県工業技術センター機械電子研究所。アンテナ, 電波無響室, EMC 測定に関する研究に従事。博士(工学)。電気学会会員。