

不要輻射測定における近傍磁界測定の活用手法の開発

—30MHz～1GHzにおける遠方界放射ノイズ予測ソフトウェア—

木島 一広・河西 伸一・清水 誠司

Study of the Practical Method of Magnetic Near-field Measurements for Evaluation of Radiated Disturbance

Kazuhiro KIJIMA, Shin-ich KASAI and Seiji SHIMIZU

要 約

電子機器開発時の電磁環境両立性対策に要する負担を軽減することを目的として、不要輻射測定における近傍磁界測定手法を検討した。市販の部品を用いて試作した近傍磁界測定装置を用いて、基本的なダイポールパターンを形成した基板について近傍磁界強度を測定し、得られた結果から比較的簡単な計算により電界強度を求めた。その計算値は、同基板の電波暗室内における放射妨害波測定結果と比べ7dB程度の差であった。

Abstract

We investigated the practical method of magnetic near-field measurements for evaluation of radiated disturbance, for the purpose of alleviation of the burden which are spent for control of radiated disturbance in development of an electronic equipment. We made the magnetic near-field measurement device, and measured the strength of magnetic near-field above the printed circuit board carved into simple dipole antenna pattern. As a result of simple electric field calculation based on magnetic near-field measurement, we obtained the result which had the difference of 7dB compared with radiated disturbance measurement.

1. 結 言

ここ数年、一般家庭における情報通信環境の整備が急速に進んでいる。総務省の行った個人のインターネット利用状況調査¹⁾では2003年末時点でのインターネット人口普及率は60%を超え、その中でもブロードバンド（高速・大容量）回線が47%を占めている。今後、情報通信端末の扱う信号の量はますます増大する傾向にある。それに伴い、情報処理端末の処理速度はさらなる高速化を要求され、また情報通信回線は一層の大容量化を迫られることになる。

このような動きは、電子機器に対して動作周波数、搬送波周波数の高周波化をもたらしている。このことは、言い換えれば電子機器から放出される不要輻射の高周波化につながることになる。こうした現状を反映して、電磁環境両立性に関する国際規格では、許容値の高周波化が検討されるようになってきた。

これに伴い、電子機器流通の際に電磁環境性規格への適合を必須の条件とする国、国家共同体も増えてきている。日本でも医療機器に関しては実施される動きがあり、今後さらにその他の電子機器についても適用される事が

予想される。

以上の背景から、電子機器開発における電磁環境両立性対策はより一層複雑化することが予測され、製品開発にとっては、大きな時間的かつ経済的負担となるものと考えられる。

近年、電子機器から発生する不要輻射の発生箇所特定や、LSI、プリント基板からの不要輻射評価を行うための手法として近傍磁界測定が頻繁に使われるようになり、そのための装置も市販されている。²⁾⁴⁾これは、小型のループコイルにより、LSIやプリント基板、電子機器の近傍を走査し、その箇所に発生している近傍磁界を測定する手法であり、不要輻射の原因追及には非常に有力なものである。

しかし、近傍磁界測定は局所的な電磁界分布を定性的に解析する際には有用であるものの、近傍界に含まれる電磁界成分の複雑さと、基板のパターン形状の複雑さに起因する電磁界干渉の影響などにより、得られた結果の定量的な解析は極めて困難となる。そのため近傍磁界測定結果に基づいて、規格での認定手法による不要輻射測定結果を直接評価することが難しいことから、このよ

うな試みを行った例は少ない。^{2),3)}

近傍磁界測定結果による不要輻射評価が実現すると、電波暗室やオープンサイトなどの大規模な設備を用いず、電子機器の不要輻射評価が可能となり、企業の経済的負担や時間的制約は軽減されるものと考えられる。

そこで、本研究では、近年普及してきた近傍磁界測定を、不要輻射評価に直接活用することが可能か否かを検討した。

2. 実験方法

2-1. 近傍磁界測定装置の試作

近傍磁界測定を行う際には供試体の近傍を走査する必要があるが、人間がプローブを手を持って行った場合、プローブ~供試体間距離などが不安定になり、定量的な評価には不向きであるため、機械的もしくは電子的な走査が必要となる。今回、部品調達の簡便性と加工の容易性を考慮した、汎用部品によるシステム構築の可能性を探るために、市販のアクチュエータ、磁界プローブ、パーソナルコンピュータを用いて、近傍磁界測定装置の試作を行った。今回用いた構成部品をTable1に示す。

また、試作した装置の外観をFig.1に、用いた磁界プローブをFig.2に示す。

Table 1 List of components of magnetic near-field measurement device

Linear actuator (X-Axis)	THK Co.,Ltd. Super FA KT45 A B10-030 Stroke length : 300mm Lead : 10mm Positioning resolution : 3.125um
Linear actuator (Y-Axis)	THK Co.,Ltd. Super FA KT30 A B06-030 Stroke length : 300mm Lead : 6mm Positioning resolution : 3.333um
Linear actuator (Z-Axis)	THK Co.,Ltd. Super FA KT30 A B06-010 Stroke length : 100mm Lead : 6mm Positioning resolution : 3.333um
Servo motor (θ -Axis)	YASUKAWA Electric Corp. AC Servomotor Σ -II Series SGMAH-A3BAA21 Rated Torque : 0.095Nm Applicable encoder : Incremental encoder (13bits 2048 pulses/rev.)
Magnetic probe	NEC Glass Components, Ltd. CP-2S Measurable frequency range : 10MHz ~3GHz Spacial resolution : 0.25mm
Motor control card	COMTEC SMC-AP(PC1)
GP-IB control board	National Instruments PCI-GPIB



Fig. 1 Appearance of magnetic near-field measurement device



Fig. 2 Magnetic probe (NEC Glass components CP-2S)

2-2. ダイポール基板の近傍磁界測定

試作した近傍磁界測定装置により実際に近傍磁界測定を行った。今回は、最も基本的なダイポールパターンをプリント基板試作装置（ミッツ株式会社 FP-21）を用いてフッ素樹脂基板(比誘電率2.6)上に作製したものを供試体(Device under test:DUT)として用いた(Fig. 3)。パタン長は200mm, パタン幅は1.5mmである。基板には20mmのスペーサがつけられており測定テーブルと間隔をおいて設置するようにした。

製作した近傍磁界測定装置を用いて供試体の近傍磁界測定を行った。測定系の概略図をFig. 4に示す。供試体のSMA端子に、PADとして装着した6dBアッテネータを介して同軸ケーブルにより信号発生器を接続し給電を行った。測定装置に装着された磁界プローブは30dBプリアンプを介して、マックスホールドモードに設定したスペクトラムアナライザ（アドバンテスト R3261A）に接続し測定を行った。走査は作成した制御プログラムによって行い、データ取得はGP-IB(General Purpose Interface Bus)による自動計測を用いた。

測定は、スペクトラムアナライザをで、磁界プローブを位置分解能1mmで基板全体を走査し、また、 θ 軸を回転させて、近傍磁界の最大値を測定した。

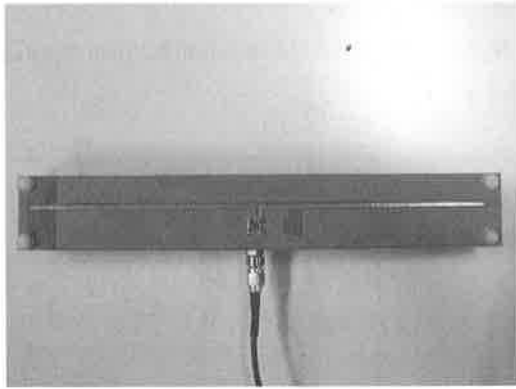


Fig. 3 Device under the test

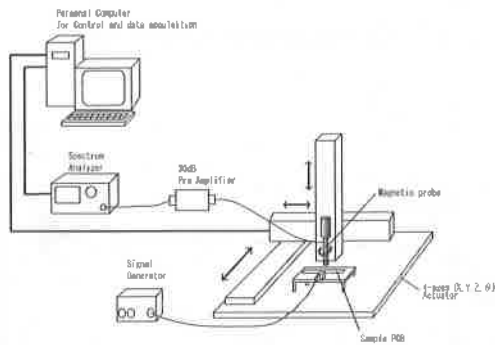


Fig. 4 Schematic of magnetic near-field measurement system

2-3 近傍磁界と放射妨害波測定結果の比較

近傍磁界とEMI規格に沿った放射妨害波測定結果の相関の有無を検討するために、両者の比較を行った。

放射妨害波測定は、工業技術センター電波暗室において、EMI規格に準拠した測定法によった。ただし、DUT-アンテナ間距離は3m、アンテナ走査高は室内寸法に限界があるため1m~2mとした。測定の状態をFig. 5に示す。測定アンテナにはパイログアンテナ(SHAFNNER CBL6111C)、受信機にはプリセレクト(アドバンテスト R3551)を併用したスペクトラムアナライザ(アドバンテスト R3361A)を用いた。検波方式は尖頭値検波を用いた。

次に、近傍磁界測定結果を電界強度に換算した値を放射妨害波測定結果と比較し、相関を調べた。



Fig. 5 Measurement of radiated disturbance

3. 実験結果および考察

3-1 ダイポール基板の近傍磁界測定

近傍磁界測定結果の一例をFig. 6に示す。

磁界プローブは通常のアンテナと比較して小さく作られているため、放射界との結合が少なく外来波の影響を受けにくいと予想されたが、同時に信号に対する感度も小さくなるため、増幅器を使用する必要が生じ、その際に外来波も同時に増幅されてしまうため、今回の実験では暗雑音を測定し、サンプル給電時測定値との差を求めた。また、測定信号は電圧として発生するので、プローブの校正係数を用いて磁界強度に変換した。

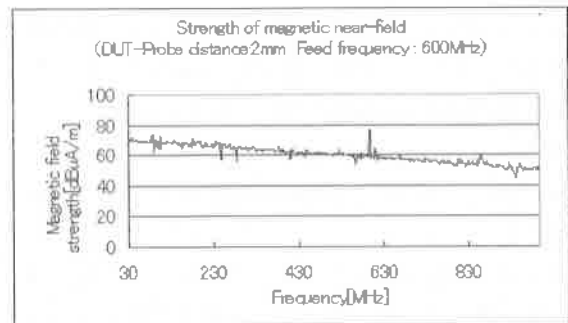


Fig. 6 Measurement result of magnetic near-field

測定されたピーク値はDUTに給電した周波数とはほぼ一致しており、測定が可能である事が確認出来た。

3-2 近傍磁界測定結果と放射妨害波測定結果の比較

近傍磁界測定に用いたDUTの放射妨害波測定結果の一例をFig. 7に示す。440MHz及び500MHz付近にあるピークは信号発生器からのものと考えられる。

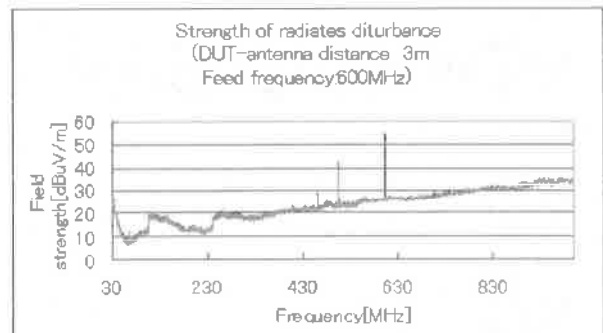


Fig. 7 Measurement of radiated disturbance

近傍磁界測定結果は磁界強度であり、放射妨害波測定結果は電界強度であるため単純に比較することはできない。そこで、測定した近傍磁界強度より、グラウンドプレーン上におけるダイポールから3m離れた距離での電界強度を計算した。まず、近傍磁界測定に使用したプローブは波長と比べて十分小さいものとして、得られた磁界強度よりアンペールの法則から導出した式(1)を用いて電流

を算出した。このとき、測定テーブルの影響は鏡像ダイポールで置き換えた。

$$I_0 = \frac{H \pi d (2D + d)}{D + d} \quad (1)$$

I_0 : ダイポール上の電流の最大値 [A]

H : 磁界強度 [A/m]

D : 測定テーブルダイポール基板間距離 [m]

d : 基板-プローブ中心間距離 [m]

次に、ダイポール基板上の電流は算出した電流値を最大値とする正弦分布であるものとして、Fig. 8のような微小ダイポールの電界強度の理論式(2)より、電界強度を計算した。想定した配置の模式図をFig. 9に示す。

計算の際には以下の条件を想定して計算を行った。

- ・ グランドプレーンを基準面として、ダイポールは0.8mの高さに配置し、観測点は高さ1m~2mの範囲で走査する。
- ・ ダイポールはグランドプレーンに対して平行、ダイポールと観測点を結ぶ線に対して垂直に置かれているものとする。
- ・ グランドプレーンは完全導体であるものとして、グランドプレーンによる反射の影響は鏡像ダイポールにより置き換える。
- ・ ダイポールの指向性は ϕ 軸に対して等方的であるものとする。

用いた理論式は、

$$\left. \begin{aligned} \hat{E}_r &= 2 \frac{\hat{I} dl}{4\pi} \eta_0 \beta_0^2 \cos\theta \left(\frac{1}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{1}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{j\beta_0 r} \\ \hat{E}_\theta &= \frac{\hat{I} dl}{4\pi} \eta_0 \beta_0^2 \sin\theta \left(j \frac{1}{\beta_0 r} + \frac{1}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{1}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{j\beta_0 r} \\ \hat{E}_\phi &= 0 \\ \beta_0 &= \frac{2\pi}{\lambda_0} \\ \eta_0 &= \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \\ \hat{I} &= I_0 \cos(\sqrt{\epsilon_r} kl) e^{j\omega t} \\ k &= \frac{2\pi}{\lambda_0} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし

ϵ_r : 基板の比誘電率

λ_0 : 真空中の電磁波の波長 [m]

ϵ_0 : 真空中の誘電率

μ_0 : 真空中の透磁率

である。

計算ソフトウェアにはMathematica(Wolfram research)を用いた。

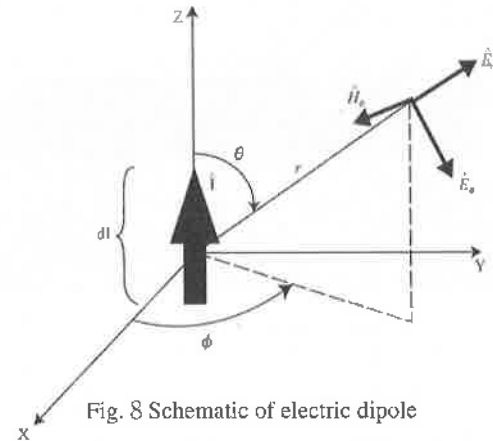


Fig. 8 Schematic of electric dipole

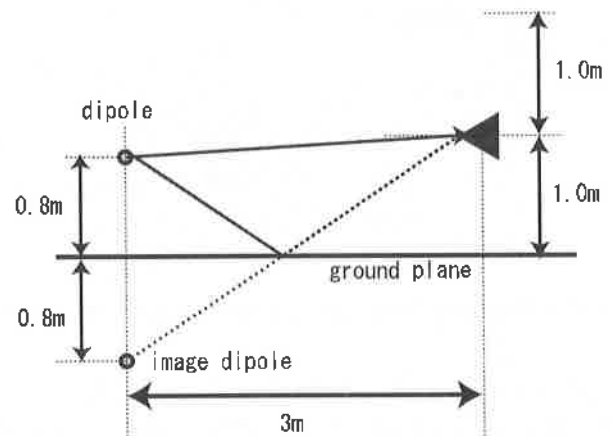


Fig. 9 Schematic of assumed arrangement for calculation of electric field

電界強度計算結果の最大値と放射妨害波測定結果との比較の結果をFig10に示す。計算結果と実測値の差は7dB程度であった。

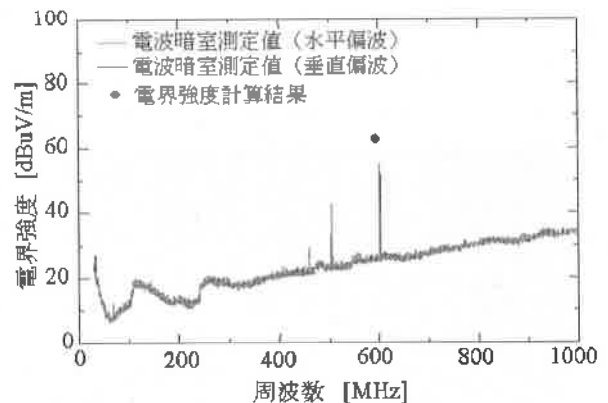


Fig. 10 Comparison of magnetic near-field result and radiated disturbance measurement

実測値と計算値の差は、近傍磁界測定に金属製の測定テーブルを用いたことにより、測定テーブルとDUTの間に寄生容量が生じたことでDUTの入力インピーダンスが低下し、非導電性のテーブル（放射妨害波測定で用いたもの）にDUTを置いたときと比べ、同じ電力を給電した場合に流れる電流が増加することに起因するものと考えられる。

今回は基本的なダイポールパターンについて検討したが、実際の製品に近い複雑な配線パターンを持つ基板については、さらに配線間の干渉等を考慮した計算を検討する必要がある。

4. 結 言

今回の研究では、

- 市販のアクチュエータ、磁界プローブと加工の容易な金属材料を用いて近傍磁界測定装置を試作し、基本的なダイポール形状の基板について近傍磁界測定を行った。
- 得られた近傍磁界強度を用いて、比較的簡単な計算により求めた電流値と、単純なモデルによる電界計算により、実測値と比較し7dBの差で電界強度を計算することができた。

参考文献

- 1) 総務省 情報通信政策局：通信利用動向調査報告書 世帯編 (2004)
- 2) 渡辺哲史, 青山勝, 鳥越誠, 和田修己, 古賀隆治：“プリント回路基板の近傍磁界測定による遠方電界予測法の開発” 岡山県工業技術センター報告, No.23, P35 (1994)
- 3) 黒内利明, 坂本憲弘：“近傍電磁界解析技術に関する研究 (第1報)” 栃木県工業技術センター研究報告, Vol.18, (2002)
- 4) 渡辺毅, 飯塚裕一, 増田則夫：“半導体デバイスのEMC評価法－磁界プローブ法の概要－”：NEC技報, Vol.53, No, 4 P132. (2000)
- 5) Clayton R.Paul：EMC概論, ミマツデータシステム (1994)
- 6) 虫明康人：アンテナ・電波伝搬, コロナ社 (1961)
- 7) J.D.Jackson：電磁気学, 吉岡書店 (1994)