

携帯電話機の高周波電磁場が電子ポケット線量計に及ぼす影響

出路 静彦 西澤 邦秀

名古屋大学大学院環境学研究科, 名古屋大学アイソトープ総合センター

論文受付日: 2003年2月2日, 受理日: 2003年3月20日

Effects of High Frequency Electromagnetic Fields Emitted from Digital Cellular Telephones on Electronic Pocket Dosimeters

Shizuhiko Deji and Kunihide Nishizawa

Graduate School of Environmental Studies & Radioisotope Research Center, Nagoya University

Electric field strength distribution around the digital cellular telephone (cell phone) transmitting 1.5GHz band was analyzed by using an isotropic probe. Five types of electronic pocket dosimeters (EPDs) were exposed to the fields for 50sec under four kinds of configurations relative to the cell phone. The field distribution expanded around the antenna and had a maximum strength level of 36.5 ± 0.3 V/m. The cell phone caused abnormally high values (wrong dosages) to four EPDs out of five due to electromagnetic interference. Three out of the four EPDs exceeded the upper limits of dose range depending on the configurations, and the maximum value of wrong dosage among the EPDs was $1,283 \mu\text{Sv}$. The minimum distance preventing electromagnetic interference (protection distance) differed with each EPD and ranged from 2.0cm to 21.0cm. The electromagnetic immunity levels of EPD-1, 2, 3, 4 and 5 were 13.3, ≥ 35 , ≥ 32 , 9.2 and ≥ 35 V/m, respectively. Although the immunity levels were either equal to or greater than the IEC-standard level, those of the EPDs should be enhanced greater than the IEC-standard from the standpoint of radiation protection.

Key words: electronic pocket dosimeter, EPD digital cellular telephone, cell phone electromagnetic interference, electromagnetic immunity

1 はじめに

電子ポケット線量計(Electronic pocket dosimeter: EPD)は、個人被曝線量を測定する直読式の放射線検出器である¹⁾。EPDに入射した放射線は、内部のp-n接合シリコン半導体検出素子において検出され、被曝線量は μSv 単位の計数として液晶画面にデジタル表示される。keV~MeVにわたる広いエネルギー領域のX、 γ 線を高感度で測定することができるため、放射線管理区域内において短時間の作業を行うときなどの個人被曝線量測定に広く用いられている。

携帯電話機は世界中で急速に普及しているが、電話機が発信する高周波電磁場が各種の電子機器を障害し、電磁干渉によって誤動作を起こさせる^{2,3)}ことが報告されている。特に病院および航空機内においては、医療用電子機器や航空機の制御システムが誤動作を起こした場合には人命にかかわる事故⁴⁾に直結するとして、電話機の使用が禁止あるいは制限されている。電波産業会の不要電波問題対策協議会から1997年3月に出された指針では、電話機を心臓ペー

スメーカーから22cm以上離すように定めており⁸⁾、1998年3月には運輸省航空局技術部航空機安全課が航空機内における電話機の使用を禁止するよう航空事業者に対して通達している⁹⁾。しかしながら、電話機使用上の具体的な距離が示されているのは、心臓ペースメーカーに対してだけである。

国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission: IEC)は、IEC 61000-4-3¹⁰⁾において一般電子機器の電磁耐性を試験する電場強度(試験強度)および試験強度下での動作基準を国際規格として規定している。そこには周波数800~960MHzおよび1.4~2.0GHz帯のデジタル携帯電話機が発信する高周波電磁場に対して(1)10V/mの曝露では誤動作を起こさないこと、(2)30V/mの曝露では誤動作を起こしたとしても、曝露中止後は正常に復帰すること、と規定されている。このことは、電子機器が最低限10V/mの電磁耐性レベルを有していなければならないことを要求している。しかしながら、これまでに電子機器の一

種であるEPDの電磁耐性レベルについては報告されていない。

我々はこれまでに、放射線管理区域内において携帯電話機を使用することによってEPDが誤動作を起こして、異常な計数を示すことを経験している。誤動作による計数(誤計数)の上昇によって本来被曝していないにもかかわらず被曝したと誤認させる、あるいは逆に被曝したにもかかわらず誤動作によるものと誤認させることを意味している。後者の場合においては、放射線被曝を見逃す結果となる。誤計数は、EPDを用いる個人被曝管理を不可能にするため、EPDには誤動作を起こさせてはならない。

これまでに我々は、電話機の使用に伴うEPDの誤動作に関して予備的な報告¹¹⁾を行ったが、電磁干渉の詳細については明らかにしていない。現在普及しているEPDと電話機のいずれか一方の使用を停止することは、現実的ではない。次善の策はEPDと電話機が同時に使用された場合に、EPDに誤動作を起こさせない条件を明らかにして、その条件の範囲内で使用すること、あるいは誤動作対策を施すことである。そのためには、EPDが誤動作を起こさない電話機との最短距離、すなわちEPDの誤動作防止距離を明らかにすること、および電話機周囲の電場分布を詳細に分析して、誤動作防止距離に対応する電場強度、すなわちEPDの電磁耐性レベルを明らかにしておくことが必要である。それによって、正確な被曝線量の測定に基づく適切な個人被曝管理を実施することが可能となる。

本研究の目的は、携帯電話機周囲の電場強度を実測して強度分布を分析すること、EPDの誤動作防止距離を明らかにすること、EPDが有する電磁耐性レベルを明らかにすること、および電子機器の電磁耐性に対するIEC規格の試験強度と比較することである。

2 材料および方法

2.1 携帯電話機周囲の電場強度

1.5GHz帯(1.429~1.501GHz)¹²⁾の高周波電磁場を最大出力0.8W¹³⁾で送信するデジタル携帯電話機(Tu-Ka, SANYO TS-01)周囲の電場強度を測定した。Fig. 1に示すように、電話機底部の中心を原点とする円筒座標(r, θ, z)を用いて電話機周囲の空間を定義した。測定点は、水平距離を表す r 軸の0~30cmを5cm間隔で6分割した6円筒面、角度を表す θ 軸を30°間隔で12分割した12縦断面、および高さを表す z 軸の-10~30cmを5cm間隔で8分割した9水平面の各面の交点および z 軸を含めた657点から、電話機本体およびアンテナが存在する z 軸上の0~20cmの5点を除いて、計652点とした。

電場強度測定システムは、3軸ダイポールアンテナを有する等方性のプローブ(Wandel&Goltermann, E-field Type8.3)、電磁放射線モニタ(Wandel&Goltermann, EMR-

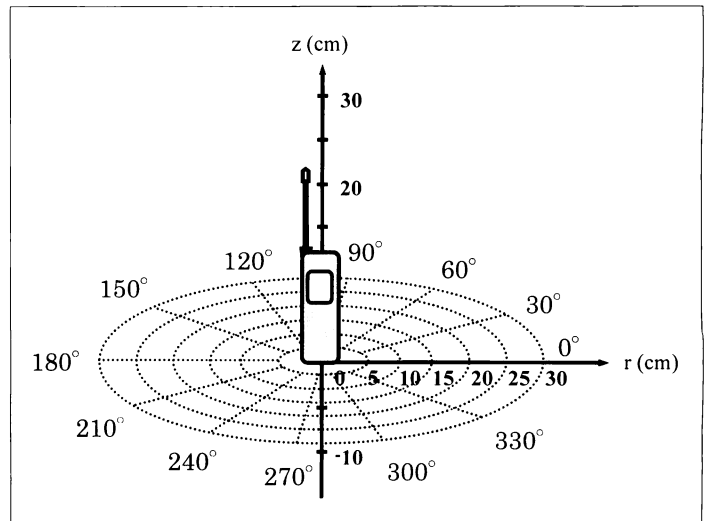


Fig. 1 Cylindrical coordinate system (r, θ, z) defined on cell phone

300)、パーソナルコンピュータ(OS: Windows98, CPU: Pentium II)、ソフトウェア(Wandel&Goltermann, ETS-1 V.1.05)および光ファイバーケーブルからなる。測定した電場強度は、プローブに付属している1.5GHzの周波数に対する校正係数を用いて補正した。電場強度の絶対誤差は、 $\pm 1\text{dB}$ ¹⁴⁾であった。

金属物質による電磁場の反射⁶⁾の影響を避けるために、電話機をアクリル製の柵上に配置した。同様の理由で、プローブおよび電磁放射線モニタを発泡スチロールの台の上に固定した。電話機から3軸アンテナの中心までの距離は、最短で5cmであった。各点の電場強度は、3回測定した平均値からバックグラウンドの平均値を減算した値とした。

2.2 EPDの誤動作の測定

2.2.1 EPD

5種類のEPD(Aloka, 1: PDM-101, 2: PDM-111, 3: PDM-101, 4: PDM-107, 5: PDM-117)を誤動作の測定対象にした。EPD-1, 4には、電磁遮蔽が施されていない。EPD-2, 3, 5には電磁遮蔽が施されており、そのうちのEPD-2, 5は電磁遮蔽を強化した機種であった。電磁遮蔽の具体的な方法および内容についての詳細は、不明である。

Fig. 2に示すように、被曝線量が表示される液晶画面側をEPDの表(おもて)と定義した。EPDの長軸上の中心を0cmとして、6~-6cmを3cm間隔に5分割したAからEの5カ所を誤動作の測定部位とした。

Fig. 3に示すように、電話機に対するEPDの相対配置を(1)平行表、(2)平行裏、(3)垂直表、(4)垂直裏の4種類とした。(1)平行表とは、EPDの長軸が電話機に定義した円筒座標の z 軸に対して平行であり、かつEPDの表と定義した液晶画面側を電話機に向けた場合を表している。(2)平行裏とは、EPDの長軸が z 軸に対して平行であり、かつEPDの裏側を電話機に向けた場合を表している。同様に(3)垂直表および(4)垂直裏とは、各々 z 軸に

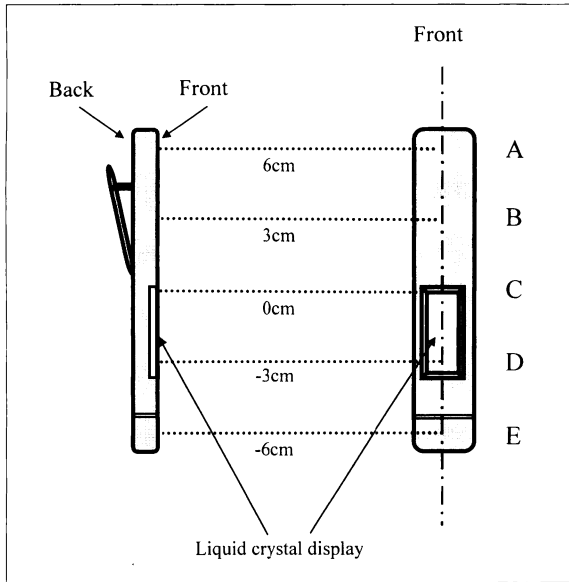


Fig. 2 Electronic pocket dosimeter

垂直であり、かつ表側を向けた場合および裏側を向けた場合を表している。電話機の原点からアンテナの中心が位置する高さ15cmに、EPDの測定部位が位置するように配置した。EPDは機種、相対配置、部位によって電話機の遠方2.0~21.0cmの距離から、1cm間隔で電話機の方向へ水平移動させた。誤計数が生じる距離付近では、0.5cm間隔で移動させた。4種類の相対配置ごとにA~Eの各部位を電話機が発する電磁場に50秒間曝露させて、誤計数を測定した。

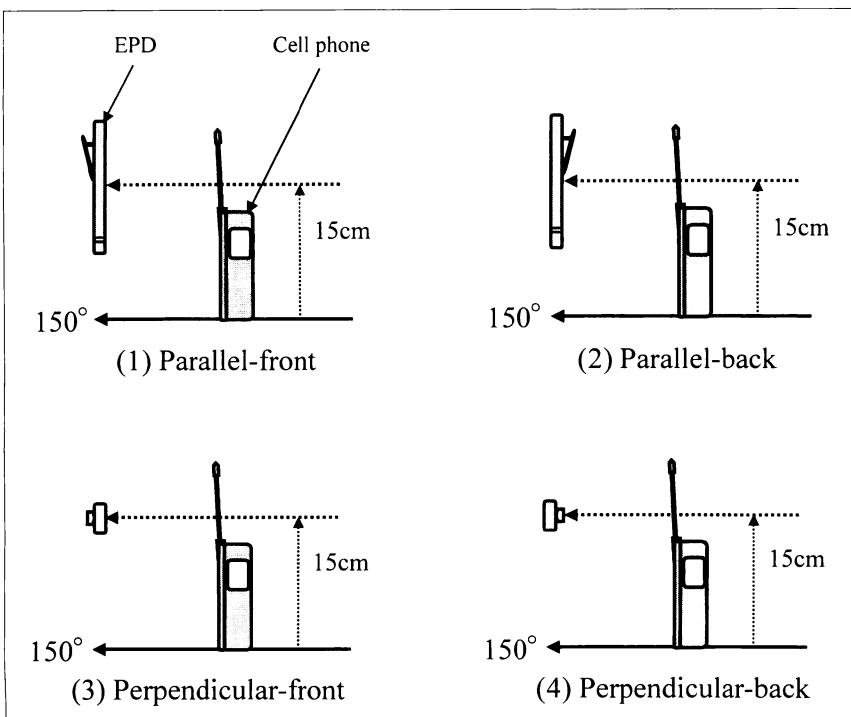


Fig. 3 Configuration of EPD relative to cell phone

2.2.2 誤動作防止距離および電磁耐性レベル

50秒間の電磁場曝露に対して、誤計数が生じず $0\mu\text{Sv}$ であった電話機からの最短距離を干渉距離とした。EPDは干渉距離よりも電話機の近傍では電磁干渉によって誤動作を起こすが、干渉距離よりも遠方では誤動作を起こさない。EPDの部位および電話機に対する相対配置ごとに干渉距離を求めた。干渉距離の最大値は電磁干渉によるEPDの誤動作を防止できる距離を意味する。したがって干渉距離の最大値を誤動作防止距離とした。EPDの電磁耐性レベルは、誤動作防止距離に対応する電場強度とした。

3 結果

3.1 携帯電話機周囲の電場強度分布

Fig. 4は、 150° ~ 330° 面の縦断面の電場強度分布を示している。30, 20, 10V/mの電場強度分布は、アンテナを含めた電話機の周囲を取り囲むように分布しており、アンテナ部において外側に膨らむ傾向を示した。

全縦断面での強度分布は縦断面ごとに多少変動したが、概ね同様の傾向を示した。電場強度の最大値は、 $36.5 \pm 0.3\text{V/m}$ であった。最大値は、アンテナの中心部に相当する高さ15cmにあった。電話機は、本体部よりもアンテナ部において強い電場を発生していた。

IEC規格の試験強度30および10V/mに相当する電話機からの最長距離は、各々7および21cmであった。

3.2 EPDの誤動作

5種類のEPDはEPD-5を除く4機種が誤動作を起こし、そのうちの3機種は電話機に対する相対配置および部位によって線量表示の上限値を超えて計数したが、曝露中止後は全て正常に復帰した。

Fig. 5は、電話機に対するEPD-1の相対配置が平行表である場合の誤計数の部位依存性を示している。EPD-1は全ての部位で誤計数を生じた。部位A, C, D, Eでは、各々5.0, 2.0, 3.0, 4.0cm以下の距離において線量表示の上限値 $99.99\mu\text{Sv}$ を超えて計数したが、部位Bでは超えなかった。誤計数値は電話機に近づくほど上昇する傾向を示し、部位および距離によって異なる値を示した。部位A, B, C, DおよびEの干渉距離は、各々8.0, 4.0, 4.5, 5.0および5.5cmであった。部位Aは、電磁感受性が最も高かった。誤計数値および干渉距離は、相対配置によっても異なっていた。他の機種も同様の傾向を示した。誤計数の最大値は、遮蔽が施されていないEPD-4が

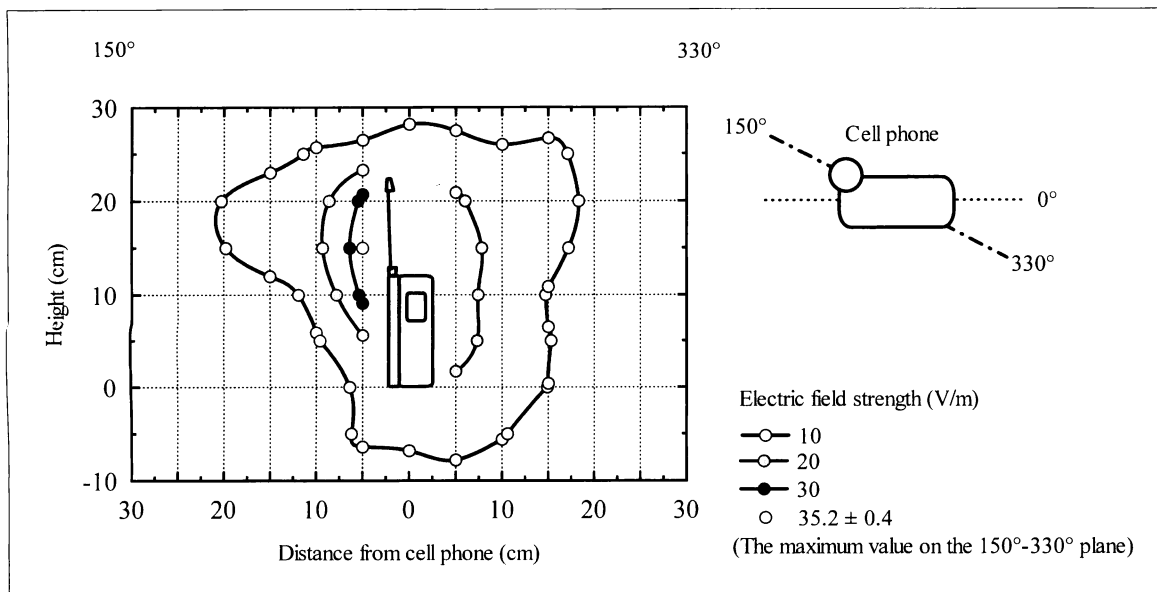


Fig. 4 Electric field distribution around cell phone in longitudinal section in a direction of 150°

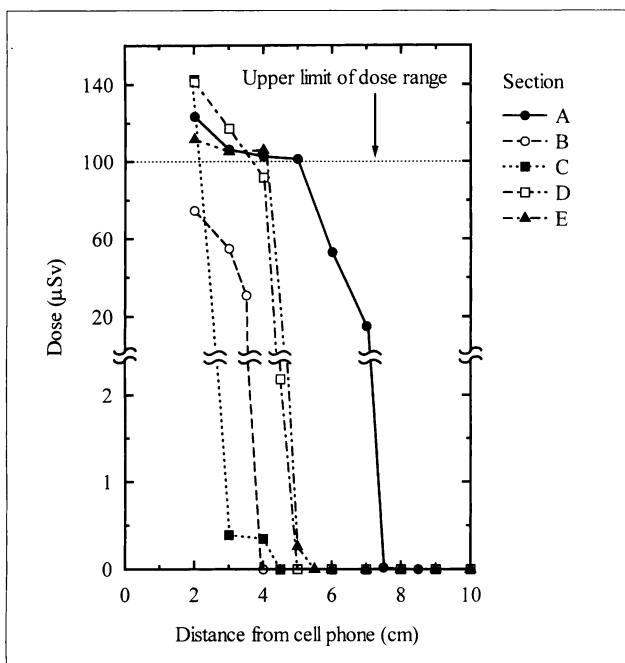


Fig. 5 The relationship between dose and distance from cell phone
Type: EPD-1, Configuration: Parallel-front, Exposure time: 50sec

携帯電話機に接触する距離 2cm において示した 1,283 μ Sv であった。

Table 1 は、電磁感受性が最も高かった部位および相対配置、その部位および相対配置での誤動作防止距離および電磁耐性レベルを示している。電磁感受性が最も高かった部位および相対配置は、EPD によって異なっていた。EPD-1, 2, 3, 4 の誤動作防止距離は、各々 13.0, 4.0, 2.0, 21.0cm であった。電磁遮蔽された EPD-2 および 3 は、未遮蔽の EPD-1 および 4 よりも短い誤動作防止距離を示したこ

とから、電磁遮蔽の効果が認められた。EPD-1, 2, 3, 4 および 5 の電磁耐性レベルは、各々 13.3, ≥ 35 , ≥ 32 , 9.2 および ≥ 35 V/m であった。電磁耐性レベルは、10% の誤差範囲内で IEC 規格と同程度以上であった。

4 考察

Fig. 4 に示すように、電場強度は高さ 15cm において最大値を示しており、電場強度の等高線分布は外側へ膨らんでいた。このことから電話機は、本体部よりもアンテナ部において強い電場を発生することが明らかとなった。したがって、電話機のアンテナ近傍では EPD に誤動作を起こさせる危険性がより高いと考えられる。

Table 1 に示すように、EPD は部位によって電磁感受性に差が認められた。各機種の干渉距離が最長であった部位 A, C, D は、部位 B, E よりも電磁感受性が高かった。これは、EPD 内部の部位 A には半導体検出素子が、部位 C, D には電子回路の基板が位置しているためと考えられる。

EPD は、相対配置によっても電磁感受性に差を示した。一般に、電子機器内部の回路や配線は外部電磁場に対してアンテナとして機能する¹⁵⁾ことが知られており、電場の振動面、すなわち偏波面と平行の場合に電磁干渉が最も強くなる。したがって相対配置に依存した電磁感受性の差は、偏波の影響であると考えられる。

EPD の誤動作防止距離は、実験室内の電磁的影響を及ぼす可能性のある物を極力除去した環境のもとに、誤計数を生じる可能性が最も高い条件下で求めた値である。しかし、実際に電話機を使用する環境は必ずしも実験条件と同一ではない。実験的に求めた誤動作防止距離は、実際に電話機を使用する場合の誤動作を完全に防ぐことを保証する値ではない。例えば実験では EPD への曝露時間、すなわち

Table 1 Protection distance and electromagnetic immunity level of EPD

| EPD | Section | Configuration | Protection distance (cm) | Electromagnetic immunity level (V/m) |
|-----|---------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 1 | A | Parallel-front | 13.0 | 13.3 |
| 2 | D | Parallel-front | 4.0 | ≥35 |
| 3 | C | Perpendicular-front | 2.0 | ≥32 |
| 4 | A | Parallel-front | 21.0 | 9.2 |
| 5 | All | All | n.d. | ≥35 |

n.d.: not detected

電話機の使用時間を50秒としたが、実際には50秒以上電話機を継続して使用することが日常的に起きているので、50秒以上曝露する場合が予測される。また、電話機の位置を変えた場合には、送信出力制御機能¹³⁾によって電話機が出力を増大させることもあり得る。これらの場合には、誤計数が0であった距離においても誤計数を生じる可能性がある。さらに人体、金属物質および実験室内のコンクリート壁等で反射した^{5,6)}電磁波が干渉することによって特定の方向の電場が強くなり、誤計数を生じる可能性もある。したがって、放射線管理区域内において実際にEPDと電話機を併用する場合には、各機種別の誤動作防止距離以上にEPDと電話機間の距離を保つ必要がある。

EPDの電磁耐性レベルはEPD-4の9.2V/mからEPD-2およびEPD-5の35V/m以上のレベルであり、IEC規格と同程度以上であった。しかしEPD-5を除く4機種は、IEC規格を

満たしていても誤動作を起こした。したがって一般の電子機器とは異なりEPDに誤動作を起こさせないためには、EPDの電磁耐性レベルをIECの規格以上に高める必要がある。

5 結論

1.5GHz帯のデジタル携帯電話機周囲の電場分布は、アンテナ部において外側に膨らむ傾向を示した。電話機はアンテナ部においてEPDを誤動作させる可能性が高い。EPDの誤動作防止距離は、機種によって異なり2.0~21.0cmの間であった。EPD-1, 2, 3, 4 および5の電磁耐性レベルは、各々13.3, ≥35, ≥32, 9.2および≥35V/mであった。EPDの電磁耐性レベルはIEC規格と同程度以上であるが、放射線防護上はIEC規格以上にEPDの電磁耐性レベルを高めるべきである。

■ 文 献

- 1) Kawano T., Ebihara H.: Performance test of PDM-101 electronic pocket dosimeters using a ⁶⁰Co source, *Health Phys.*, 65(3)313-317(1993).
- 2) Hietanen M., et al.: Safe use of mobile phones in hospitals, *Health Phys.*, 79(suppl 2), S77-S84(2000).
- 3) 田中秀明, 杉浦彰彦: 接続方式の相違が電子機器に与える影響の比較, *電子情報通信学会論文誌, C-II, Vol. J81-C-II, No. 3, p. 366-372(1998)*.
- 4) 服部佳晋, 只野 博, 長瀬 宏: ICのRFノイズイミュニティ評価法の検討, *電子情報通信学会論文誌, B-II, Vol. J81-B-II, No.2, p. 179-182(1998)*.
- 5) 佐藤 浩, 堂前洋幸, 高橋応明, 安部 實: コンクリート壁の表面形状変化による電磁波の反射, 透過抑制, *電子情報通信学会論文誌, B, Vol. J82-B, No. 4, p. 674-682(1999)*.
- 6) Tsuyoshi Hondou: Rising level of public exposure to mobile phones: accumulation through additivity and reflectivity, *Journal of the Physical Society of Japan*, 71(2), p. 432-435(2002).
- 7) 電子回路技術委員会: 高周波回路のアイソレーション技術, *電気学会技術報告, no. 578, Feb.(1996)*.
- 8) 不要電波問題対策協議会: 医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話端末等の使用に関する指針, *電産産業会, (1997)*.
- 9) 運輸省航空局技術部航空機安全課: 航空機内での携帯用電子機器の使用制限について, *空航 第175号, 空機 第329号(1998)*.
- 10) International Electrotechnical Commission: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test, IEC 61000-4-3 Edition 1.2, IEC(Geneva), 2001.
- 11) 小島 久, 森川真理, 西澤邦秀: 個人被曝線量計へ高周波電磁場発生器具が与える影響, *Tracer*, 28, 12-13(2000).
- 12) 総務省総合通信基盤局: 我が国の電波の使用状況, (2001).
- 13) 斎藤忠夫, 立川敬二共編: “新版 移動通信ハンドブック”, p. 396-404, オーム社(東京), 2000.
- 14) Hess, G. translation: EMR-20/-30 EMR-200/-300 radiation meters operating manual, Wandel&Goltermann(Munich), 1998.
- 15) Fukumoto, Y. et al.: Power current model of LSI/IC containing equivalent internal impedance for EMI analysis of digital circuits, *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E-84-B, No. 11, 3041-3049(2001).