

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18360187

研究課題名 (和文) ユビキタス機器の電波干渉測定・対策法に関する研究

研究課題名 (英文) Study on Measurement and Mitigation Methods of Radio Interference for Ubiquitous Equipments

研究代表者

徳田 正満 (TOKUDA MASAMITSU)

武蔵工業大学・知識工学部・教授

研究者番号：70284586

研究成果の概要：どこでも、いつでも、どのような情報でも通信できるユビキタス環境を実現するには、ユビキタス機器が周囲の機器から放射される電波に干渉されずに、正常に動作する必要がある。本課題では、相互に通信する一方の機器にのみ妨害波を印加して電波干渉特性を測定する方法を開発するとともに、干渉のメカニズムをシミュレーションする方法も検討し、測定値とシミュレーション値がほぼ一致することを確認した。また、干渉試験サイト評価用の光給電アンテナや干渉対策用の吸収体についても全く新しいタイプのものを開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,100,000	0	8,100,000
2007年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	2,010,000	16,810,000

研究分野：通信システムの EMC (Electromagnetic Compatibility：電磁両立性)

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学 (5104)

キーワード：ユビキタス、電波干渉、EMC (Electromagnetic Compatibility：電磁両立性)、イミュニティ、エミッション、無線LAN、UWB (超広帯域) 通信

1. 研究開始当初の背景

携帯電話の爆発的な普及によって、どこでも、いつでも、どのような情報でも通信できるユビキタス環境に向けた第1歩が踏み出されたと言って良い。また、50Mbps を越える高速の無線LANの実現によって、動画の伝送も可能となり、企業ばかりでなく、駅、公園等でのホットスポットでの通信が盛んになっている。さらに第4世代の携帯電話では、無線LANの機能も取り込み、より完全なユビキタス環境を目指している。このようなユビキタス環境を実現するには、搭載されている無線通信機器が周囲の機器から放

射される電波に干渉されずに、正常に動作することが必要不可欠である。従来の無線通信機器では、周波数帯域が割り当てられて、高性能なフィルタにより周囲の干渉波を除去していた。しかし、2.4GHz 帯の無線LANのように、スペクトル拡散を利用した IEEE 802.11b と OFDM (直交周波数分割多重) を利用した IEEE802.11g が同じ周波数帯域を使用しており、さらに、Bluetooth も同じ帯域を利用しているため、それらの機器間における電波干渉が極めて重要な問題になっている。一方、最近 UWB (Ultra Wide Band)

通信が総務省の情報通信審議会で検討されたが、3~10GHzの広い周波数帯を使用するため、その周波数帯に存在する既存システムとの電波干渉が極めて重要な検討課題になっている。

このような無線機器の干渉特性を測定するには、干渉波が外部に漏洩せず、かつ不要な反射の少ない電波無響室で通常は実施される。ところが、無線機器は被測定機器と通信する対向機器が必要であるが、電波無響室では、被測定機器ばかりでなく、対向機器にも干渉波が印加されるため、誤動作がどちらの機器で発生したかを特定できないという問題がある。この問題を解決するため、本研究課題では、被測定機器のみに干渉波を印加した状態で、かつ対向機器とも通信することが可能な測定法を確立しようとしていることが最大の特徴である。被測定機器のみに干渉波を印加するには、局所的に電界を発生させ、その中に被測定機器を挿入する方法が一般的である。そのような電界印加器としてTEM (Transverse Electro-Magnetic)セルがあるが、周囲を金属導体で囲んでいるため、セルの中に設置した被測定機器とセル外に設置した対向機器間で通信することができない。一方、2枚の金属板を平行に配置してその間に被測定機器を設置するストリップラインでは、金属に囲まれていないため、被測定機器と対向機器は相互に通信できるが、金属板間隔に相当する波長より短い波長を有する電波では、高次モードが発生するため、2GHzもの高周波では、被測定機器を設置するスペースが確保できない。このような状況のため、例えば、ノートパソコンに装着した2.4GHz帯の無線LANやBluetoothのカードに対する電波干渉特性を、装着した状態で測定する試みは全くなされていなかった。

2. 研究の目的

(1)無線通信機器の電波干渉測定法

それに対して、本研究では、多数のワイヤを平行に配置することにより高次モードの発生を抑圧したPW (Parallel Wired)セルを電界印加器として取り上げた。ただし、通常のPWセルは金属の管体に収容されているため、TEMセルと同じ問題を有していたので、金属管体を取り除いた開放型PWセルを試作して、2.4GHz帯無線LANを測定した結果、被測定機器と対向機器を通信した状態で電波干渉特性を測定することに世界で初めて成功した。

既存のPWセルは、3GHz以上の高周波におけるVSWR特性が良好ではないため、5GHz帯の無線LANやUWBの干渉特性を測定するためには、その特性改善を試みる必要がある。また、PWセルの電界の均一性を改善するため、従来のカーボン含有電波吸収体をピラミッドフェライトという新しい電波吸収体に変更したPWセルを試作し、特性を測定する。一方、

VSWR特性の良好なGTEM (Gigahertz TEM)セルを妨害波印加器とした無線通信機器の電波干渉測定法についても検討する。

小型無線通信機器に電波干渉波を印加すると、機器の符号誤り率やパケット誤り率が增大するが、その現象をMTLAB等の信号伝送特性シミュレータでシミュレーションする方法を検討し、実測値と比較検討することにより、信号伝送特性のシミュレーション方法を確立する。特に、現行のシミュレーション方法では、機器の符号誤り率しか求めることができないが、通常の無線LANでは符号誤り率ではなくパケット誤り率しか測定できないため、パケット誤り率をシミュレーションする方法を検討する。

(2)1GHz以上の電波無響室に対する評価法

PWセルを用いて電波干渉を測定するには、外来電波が存在せず、かつ、内部での反射が抑圧されている電波無響室が必要である。フェライトタイルとフェライトピラミッド電波吸収体を用いることにより、30MHz~20GHzの広い周波数帯域において、厚さ10cmという世界一薄い電波吸収体を用いた電波無響室を(株)リケンと共同で開発している。

電波無響室の特性を評価する方法は、CISPR (国際無線障害特別委員会)で検討されており、1GHz以上の周波数に適用可能な電波無響室の特性評価方法が、2006年2月にCISPR16-1-4第2版の8.2節に追加された。その際の最大の問題が、ダイポールアンテナのように高角度の指向性を有し、かつ、1~6GHzの広帯域な周波特性を持ったアンテナの開発である。

(3)周波数選択型電波吸収体

室内での電磁波利用として最も普及している周波数帯は無線LAN(IEEE802.11b,g,a)などの2.4GHz帯と5.2GHz帯であるので、これらの2周波数に対して反射波を軽減させ、さらに透過波を遮断できれば、室内における通信品質の改善及び安全性の向上に有効である。ただし電磁波吸収体は室内での使用となるため、構造は平板状でかつ薄型であることが望まれる。無線LANで使用されるマイクロ波に対応する電磁波吸収体としては $\lambda/4$ 型電磁波吸収体がある。 $\lambda/4$ 型電磁波吸収体は、厚みが目標吸収周波数に依存し、単周波のみ吸収する特性となる。そこで、本研究では平板構造である $\lambda/4$ 型電磁波吸収体のメリットに着目し、さらに内部に金属板を挿入する簡単な構造で薄型化を図り、複数周波帯に対応可能な電磁波吸収壁を開発しその有用性について検討する。

3. 研究の方法

(1)無線通信機器の電波干渉測定法

開放型PWセルを妨害波印加器とした電波干渉測定システムを図1に示すが、Bluetoothがピコネットを形成して相互に通

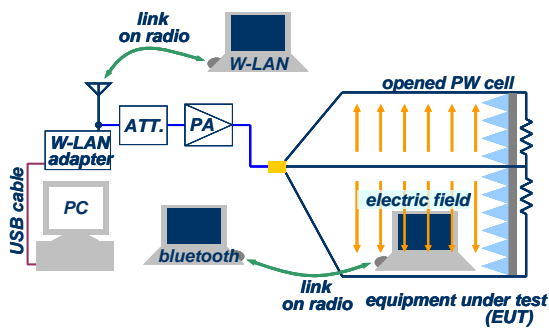


図1 Bluetooth に対する無線 LAN の干渉

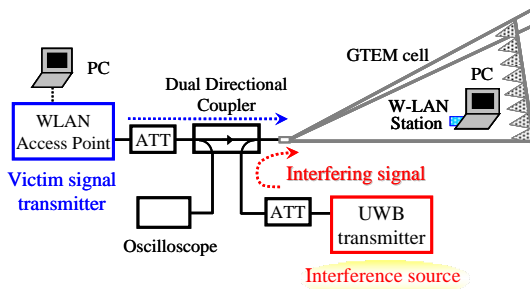


図2 無線 LAN に対する UWB の干渉

信しており、スレーブが被試験機器として開放型 PW セルの中に収容されている。一方、IEEE802.11b の無線 LAN が相互に通信しており、そのアダプタの信号の一部を取り出し、減衰器と増幅器を経由して PW セルに注入し、被試験機器に電界を印加している。

GTEM セルを妨害波印加器とした電波干渉測定システムを図2に示すが、UWB 通信システムの伝送信号を妨害源として、5GHz 帯の無線 LAN IEEE802.11a の伝送特性に及ぼす影響を測定している。GTEM セルの中には、被試験器である無線 LAN カードが PC のカードスロットに装着されている。無線 LAN のアクセスポイントからの信号は同軸ケーブルで取り出され、減衰器や方向性結合器を介して GTEM セルに印加されて TEM 波として伝搬し、無線 LAN カードと交信している。一方、妨害波である UWB 通信システムの送信信号も、方向性結合器を介して GTEM セルに印加されて無線 LAN カードの交信を妨害している。

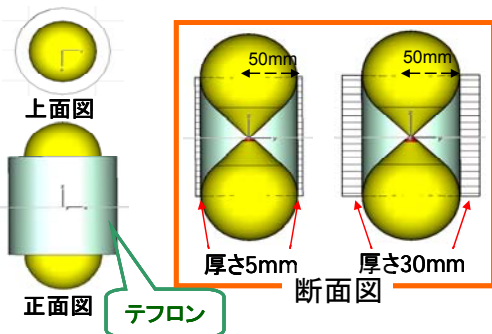


図3 涙型光給電アンテナの構造

(2) 1GHz 以上の電波無響室に対する評価法

1GHz 以上の周波数領域における電波無響室の特性評価に適用可能な放射アンテナとして、光ファイバを用いた光給電法による広帯域アンテナを開発しているが、図3に示すように涙形の形状のアンテナエレメントに補強を施すことにより、CISPR16-1-4 第2版の放射指向特性に対する規格値を満足させることができた。エレメントの形状は、給電点から円錐状に広がっており、端末に配置された球とは、接線が一致するように滑らかに接続されて涙のような形状になっている。下部のエレメントには、光給電を可能とする特殊なフォトダイオード UTC-PD (単一走行キャリアフォトダイオード) が装着され、光電力を電気電力に変換して、上下のエレメントに電気信号を印加して電波が放射されるようになっている。その上下のエレメントに、図3に示すような厚さ 30mm のテフロン製円筒で補強することにより、放射指向特性も向上した。

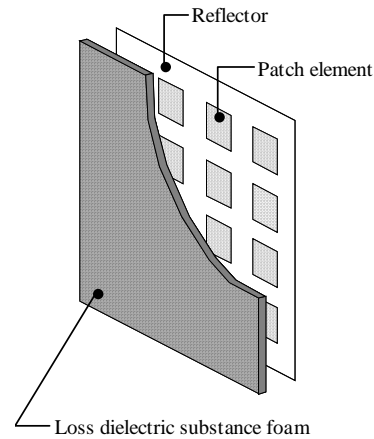


図4 多周波対応電波吸収壁の構造

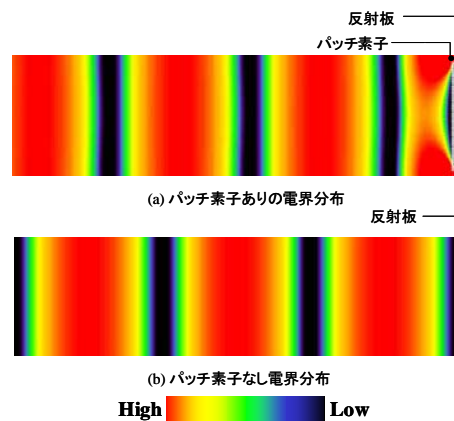


図5 パッチ素子近傍の電界分布

(3) 周波数選択型電波吸収体

無線 LAN で使用されるマイクロ波に対応する電磁波吸収体としては $\lambda/4$ 型電波吸収体がある。ここに図4に示すように、金属

パッチ素子を挿入すると、図5のようにその近傍の電磁界が集中するので、その集中点に抵抗シートを挿入すれば、電磁界エネルギーは、消費され熱に変わり、電磁波の反射を起こさない。この電界の集中度合いは周波数依存性が強いので、挿入パッチ素子の寸法や配置で制御可能であるため、選択的に複数の周波数で吸収が可能となる。

4. 研究成果

(1)無線通信機器の電波干渉測定法

開放型PWセルを妨害波印加器として使用し、無線LAN IEEE802.11bの伝送信号を妨害源としたBluetoothのスループット特性を図6に示す。そのときの周波数関係を図7に示すが、Bluetoothは2400MHz~2483MHzの広い周波数帯域を持っているが、無線LANは、図に示す6つのチャンネルで妨害源とし

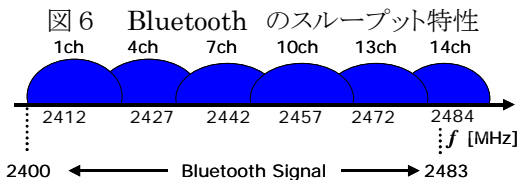
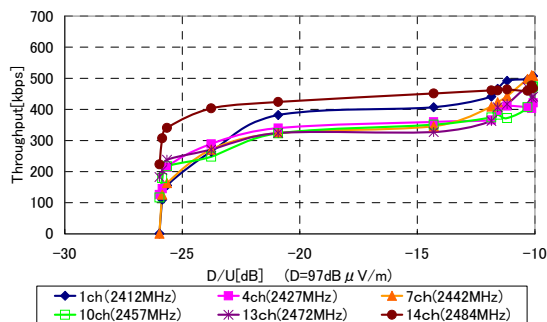


図7 Bluetoothと無線LANの周波数関係

て印加されている。図6を見ると、Bluetooth帯域の中心に存在する7chがスループットを大きく低下させており、Bluetoothの高周波帯側の外にかなりの部分が存在する14chでは、スループットの低下が少なくなっているのが分かる。

5GHz帯の無線LANに対するUWB通信システムの電波干渉特性を図8に示す。ここでNは受信機雑音であり、Cは無線LANの伝送信号レベルであ、C/Nを変化した場合のスループットの変化をプロットしている。一方、Iは妨害源であるUWB通信システムの妨害レベルであり、I/Nをパラメータにしてスループットを測定している。この場合のサブキャリアの変調は64QAMを用いている。I/N=-6dBと受信機雑音より小さな妨害波を印加しても、スループット特性に影響を与えていることが図より分かる。

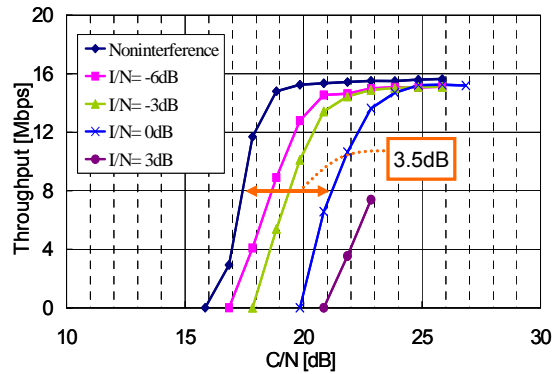


図8 無線LANの電波干渉特性測定結果

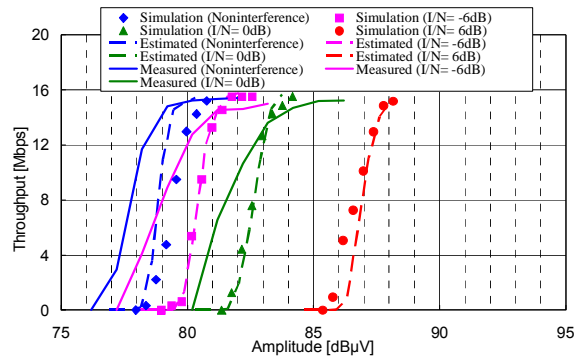


図9 干渉特性のシミュレーション結果

無線LANの電波干渉特性に対するシミュレーション結果を図9に示すが、シミュレーションと表示しているグラフは、MATLAB/Simulinkを用いた結果である。一方、推定値と表示したグラフは、APD(振幅確率分布)の測定結果より推定した値である。両方の結果とも、測定値と良く一致しており、シミュレーション方法の妥当性を確認している。

(2)1GHz以上の電波無響室に対する評価法

光給電アンテナの放射電界周波数特性を図10に示すが、1.6GHzにおける電界の落ち込みが補強によって改善されている。また、放射電界指向性に対する結果を図11に示すが、厚さ30mmの円筒で補強した場合は、指向性が改善し、CISPR16-1-4 Ed.2の規格値を満足している。

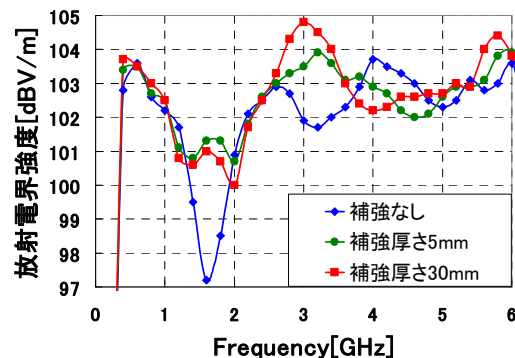


図10 光給電アンテナの放射電界特性

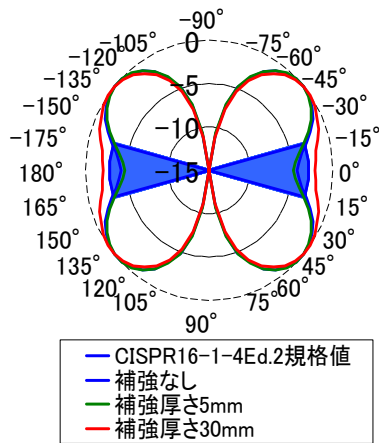


図 1.1 光給電アンテナの放射指向特性

(3)周波数選択型電波吸収体

複数の周波数を選択的に吸収することが可能な電磁波吸収壁を試作したが、実験により評価した電磁波吸収量の結果を図 1.2 に示す。挿入パッチを同一平面上で交互に寸法を変えて配置するだけで、3周波数に対応した電磁吸収壁を実現しているのが分かる。

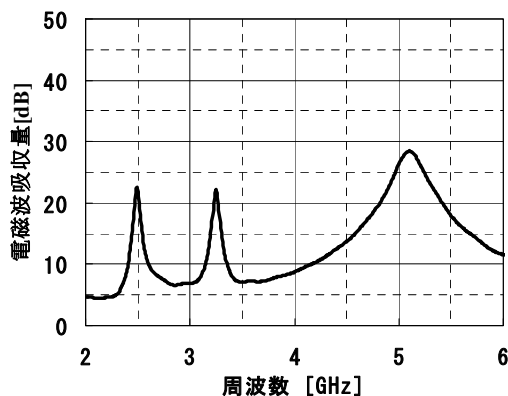


図 1.2 3周波数対応電磁吸収壁の吸収量測定結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 樋熊利康、向井卓也、徳田正満、低速ベースバンド伝送信号が高周波帯マルチトーン伝送信号に与える影響とその対策、電子情報通信学会論文誌B、Vol.J92-B、No.2、458-468 (2009) 査読有
- ② 樋熊利康、渡邊陽介、徳田正満、空調金属配管を伝送媒体に用いた伝送システムのEMC特性、電気学会論文誌C、128巻、9号、1422-1430 (2008) 査読有
- ③ 徳田正満、電磁両立性 (EMC) に関する規格・基準化の動向、電気学会誌、128

巻、12号、816-819 (2008) 査読無

- ④ 山田将史、石上 忍、後藤 薫、松本 泰、徳田正満、GTEMセルを用いたUWB/無線LAN間の電波干渉の評価、電子情報通信学会論文誌B、Vol.J90-B、No.11、1206-1212 (2007) 査読有
- ⑤ 田中秀康、板倉成孝、岡野好伸、徳田正満、光給電法を用いた 1GHz以上EMI試験サイト評価用アンテナの広帯域化、電子情報通信学会論文誌B、Vol.J90-B、No.11、1089-1096 (2007) 査読有
- ⑥ 岡野好伸、坂内功治、地上デジタルテレビ用小形広帯域アンテナの開発、電子情報通信学会論文誌B、Vol.J90-B、No.7、679-688 (2007) 査読有
- ⑦ 徳田正満、便利で安心な社会を支えるEMC (電磁両立性)、応用物理、第 76 巻、第 6 号、606-611 (2007) 査読無
- ⑧ T. Higuma, N. Kushiro, M. Nakata, Y. Watanabe and M. Tokuda, Transmission loss and radiated electric field characteristics of transmission medium for ubiquitous network, IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.53, No.1, 131-138 (2007) 査読有
- ⑨ 岡野好伸、安井裕史、佐藤烈士、金属パッチ素子を装荷した多周波数対応型電磁波吸収壁の開発、電子情報通信学会論文誌B、Vol.J89-B、No.10、2022-2034 (2006) 査読有
- ⑩ 宮崎千春、佐々木雄一、岡尚人、徳田正満、デジタル信号線からの放射エミッションを示す指標、電気学会論文誌A、126巻、7号、810-817 (2006) 査読有

[学会発表] (計 12 件)

- ① H. Koyama, M. Tokuda and N. Fujita, Method of evaluating electromagnetic-interference characteristics of wireless LANs by narrowing frequency bandwidth of desired waves, 20th International Zurich Symposium on EMC (EMC Zurich 2009), 467-472 (2009年1月15日) チューリッヒ (スイス)
- ② Y. Okano, Development of Thin Electromagnetic Wave Absorption Wall using Patch Elements, 20th International Zurich Symposium on EMC (EMC Zurich 2009), 413-416 (2009年1月14日) チューリッヒ (スイス)
- ③ S. Inoue, H. Abe, M. Tokuda and S. Ishigami, Radiation characteristic of mono-conical antenna for wideband electromagnetic field generation, 20th International Zurich Symposium on EMC (EMC Zurich 2009), 57-60 (2009

- 年1月13日) チューリッヒ (スイス)
- ④ H. Abe, H. Tanaka, M. Tokuda and S. Ishigami, An Optical Feeding Antenna with Wide Bandwidth for Evaluation of Radiated Emission Test Site above 1 GHz, 2008 IEEE EMC International Symposium, WED-AM-6-OF-2, (2008年8月20日) デトロイト (米国)
 - ⑤ H. Kamiya, M. Yamada, S. Ishigami, K. Gotoh, Y. Matsumoto and M. Tokuda, Evaluation of Interference between MB-OFDM UWB and Wireless LAN Systems using a GTEM Cell, 2008 IEEE EMC International Symposium, THU-PM-2-5 (2008年8月19日) デトロイト (米国)
 - ⑥ H. Kamiya, M. Yamada, S. Ishigami, K. Gotoh, Y. Matsumoto and M. Tokuda, A new method for measuring interference between UWB and wireless LAN systems, 2008 IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 1106-1111 (2008年8月7日) クレタ (ギリシャ)
 - ⑦ H. Abe, M. Tokuda and S. Ishigami, Radiation characteristic of monconical antenna for wideband electromagnetic field generation, 2008 Asia-Pacific Symposium on EMC, 399-402 (2008年5月20日) シンガポール
 - ⑧ H. Kamiya, M. Yamada, S. Ishigami, K. Gotoh, Y. Matsumoto and M. Tokuda, Evaluation of interference between MB-OFDM UWB and wireless LAN systems using a TEM cell, 2008 Asia-Pacific Symposium on EMC, 100-103 (2008年5月19日) シンガポール
 - ⑨ M. Shiota, K. Matsubara, M. Tokuda and C. Miyazaki, Degree of unbalance about earth and radiated emission of differential type microstrip line in GHz band, 2007 IEEE EMC International Symposium, TUPMPS04, (2007年7月10日) ホノルル (ハワイ)
 - ⑩ M. Yamada, M. Tokuda, S. Ishigami, K. Gotoh and Y. Matsumoto, Evaluation of electromagnetic interference between UWB system and wireless LAN using a GTEM cell, 2007 IEEE EMC International Symposium, TUAM44 (2007年7月10日) ホノルル (ハワイ)
 - ⑪ H. Tanaka, S. Itakura, Y. Okano and M. Tokuda, An optical feeding antenna with wide bandwidth for evaluation of

radiated emission test site above 1 GHz, emc europe 2006 barcelona, International Symposium on EMC, Barcelona, 739-744 (2006年9月6日) バルセロナ (スペイン)

- ⑫ M. Shiota, K. Matsubara, C. Miyazaki and M. Tokuda, A Study on Degree of Unbalance about Earth and Radiated Emission of Differential Microstrip Line up to 3GHz by the 4-terminal pair network chain matrix theory, International conference on electronics packaging 2006 (ICEP 2006) (2006年4月20日) 東京 (日本)

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 電気学会ホームネットワークとEMC調査専門委員会編 (委員長: 徳田正満、幹事: 岡野好伸)、ホームネットワークとEMC、オーム社、pp.1-263, (2006)

〔産業財産権〕

○取得状況 (計 1 件)

名称: プレートアンテナおよびそのアンテナを備える通信端末

発明者: 岡野好伸

権利者: 岡野好伸、高橋 斉

種類: 特許

番号: 第 4067041 号

取得年月日: 2008年1月18日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳田 正満 (TOKUDA MASAMITSU)

武蔵工業大学・知識工学部・教授

研究者番号: 70284586

(2) 研究分担者

岡野 好伸 (OKANO YOSHINOBU)

武蔵工業大学・知識工学部・准教授

研究者番号: 10339533