

D S P 技術を適用した次世代型センシング技術の 開発に関する研究（Ⅲ）

黒川 悟^{*1}

佐藤 亨^{*2}

田村 禎 啓^{*3}

西川 憲 次^{*4}

〔要 旨〕

各種電気電子機器から放射される不要電波対策としては、機器を構成するモジュール等の設計、試作段階から対策を実施することが最も有効な方法の一つである。このため我々は、機器を構成するモジュール等の設計、試作段階に、社内の通常の実験室等で実施できる放射 EMI 対策用電界強度測定手法を開発することを目的として、微小ダイポールアンテナを用いた時間領域測定により、機器が放射する不要電波を測定する手法を試みた。その結果、本手法を用いることにより、企業の通常の実験室等電波環境の劣悪な環境において、比較的容易に放射 EMI の原因箇所起因する不要電波を観測しながら対策を実施することができる可能性を示すことができた。また、測定に用いる電気-光変換器、10GHz 程度までのスペクトラムを有する高速パルス発信器、方向性結合型センサの開発も実施したので合わせて報告する。

1 はじめに

各種電気電子機器から放射される不要電波については、国際的な EMC 規制が実施されている^[1]。

このため各企業では、認証機関での不要放射電波測定（以下、放射 EMI 測定）を実施することが必須であり、製品開発にかかるコスト、期間の増大をまねいており、特に中小企業では大きな問題となっている。

これらの問題を解決する有効な方策としては、機器を構成するモジュール等の設計、試作段階から放射 EMI 対策を実施することがあげられるが、認証機関での放射 EMI 測定にかかるコスト、測

定設備の慢性的な混雑でなかなか利用できない等の理由により、多くの企業では、製品化の最終段階で放射 EMI 測定を実施している。

また、放射 EMI 測定を最も安価に実施する手法としては、企業内の通常の実験室内で EMI 測定を実施することが考えられるが、放送電波、携帯電話電波等の外来電波や、機器が放射する電波の壁面等からの反射波等が存在するため、EMI 測定に用いるスペクトラムアナライザ等の周波数領域測定器での測定は非常に困難である。

このため我々は、当該研究開発により平成12年度までに、機器を構成するモジュール等の設計、試作段階に、社内の通常の実験室等で実施できる放射電界強度測定手法として、微小ダイポールアンテナを用いた、オシロスコープによる時間領域測定により、機器が放射する電波を測定する手法を提案し、電波半無響室だけでなく、企業の通常

* 1 京都府中小企業総合センター

* 2 京都大学大学院情報学研究科

* 3 アルモテック株式会社

* 4 京都セミコンダクター株式会社

の実験室でも、外来電波や壁面の反射波の影響なく放射 EMI 対策が実施できることを示した^{[2][3][4]}。

また、測定に用いる増幅器、電磁波の伝播方向を知ることが可能な方向性探知センサ、電気-光変調デバイスの特性とその簡易評価法としての時間領域測定手法を開発した^{[4]~[7]}。

本報告ではまず、平成12年度までに開発した測定手法を用いた電波遮断衣服の効果測定法を説明し、次に機器筐体のシールド特性評価法を説明し、最後に、共同研究成果である放射 EMI 対策技術を反映した試作品である USB インターフェース用パソコンキーボード基板の放射電界強度の時間領域測定を試みについて述べる。

2 ガウシアンパルス電波を用いた生体用電波遮断用衣服の電波遮断特性評価法の開発

2.1 測定手法の概要

ガウシアンパルス電波を用いた時間領域測定法の応用評価法として、微小ダイポールアンテナとガウシアンパルス電波を用いた生体用電波遮断衣服の電波遮断特性評価法を検討した^{[8][9]}。

送信用微小ダイポールアンテナには、エレメント長 4 cm + 4 cm のダイポールアンテナを用い、6 dB アッテネーターを介してガウシアンパルスを印加する。この微小ダイポールから放射された電波が擬似生体内に進入するレベルをエレメント長 1 cm + 1 cm ダイポールアンテナで受信する。

送信アンテナは擬似生体表面から水平方向 50 cm、床面から 1 m の位置に配置する。受信アンテナは擬似生体の首部分から挿入し擬似生体表面からおよそ 1 cm、床面と水平に配置し、床面から高さ 1 m、1.05 m の位置での受信レベルを測定する。なお測定は、以下の資料について実施する。

- ① 擬似生体のみの場合
- ② 銀繊維を用いて作成した丸首状電波遮断衣

服を着用した場合

- ③ 銀繊維を用いて作成した V 首状電波遮断衣服を着用した場合

電波遮断効果の評価については、①擬似生体みの場合の受信レベルと電波遮断衣服がある場合の受信レベルをオシロスコープを用いて測定することにより実施する。測定の概念図を図 1 に、擬似生体内のアンテナ配置を図 2 に、受信に用いるプローブの概要を図 3 に、測定する電波遮断服の概要を図 4 に示す。

なお、ガウシアンパルス発生器は Picosecond Pulse Labs Inc. 1000D をオシロスコープは Agilent Technology 54750A + 54754A を擬似生

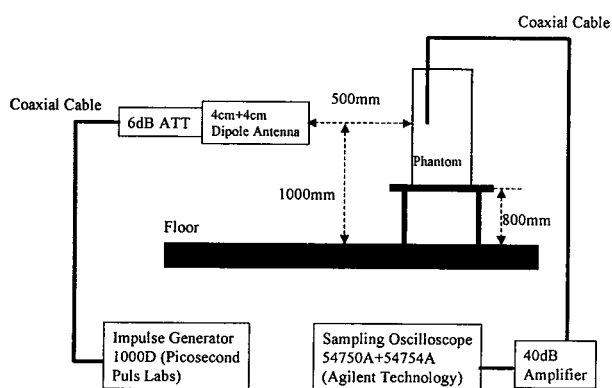


図 1 実験配置図

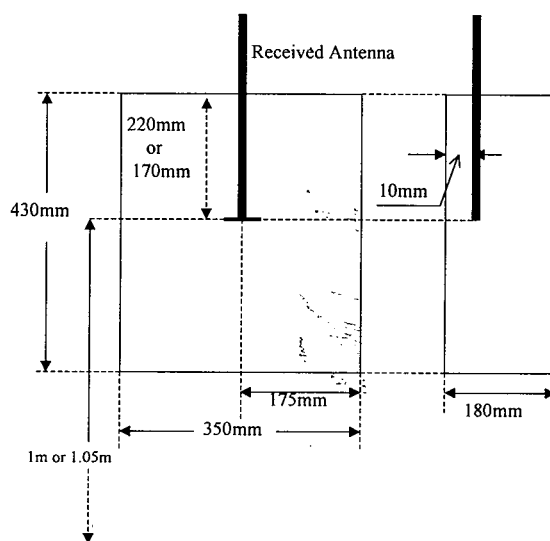


図 2 擬似生体内のアンテナ配置

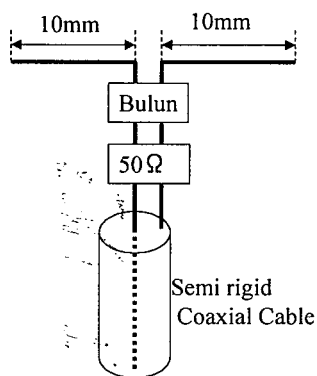


図3 受信プローブ

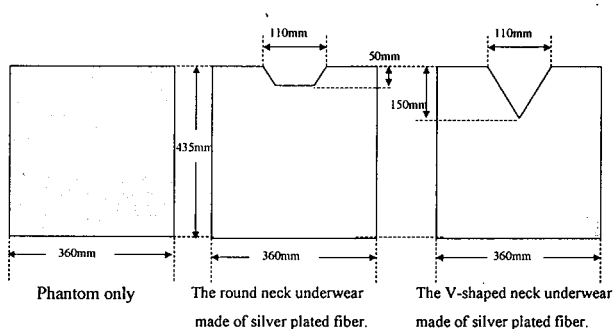


図4 電波遮断衣服の概要

体は180mm×350mm×430mmの0.5%NaCl水溶液を用いた。

2. 2 測定結果

図5に示す資料①擬似生体のみの場合の測定結果では、送信アンテナから放射される電波の直接波と1.2ns~1.4nsに観測される床面からの反射波が受信されている。床面からの反射波より遅れて受信される電波については、壁、天井などからの反射波や測定系に起因する不要信号である。図6に示すとおり、資料②の場合の1mの高さでの測定結果では、資料を直接透過する電波のみが観測されているが、1.05mの高さでの測定結果では、資料を直接透過する電波、首の開口部分から進入する電波との合成波と思われる波形が観測されている。図36に示す資料③の場合の測定結果では1m、1.05mの高さともに、資料を直接透過する電

波、首の開口部分から進入する電波との合成波と思われる波形が観測されている。

7. 3 電波遮断衣服の効果

測定結果には、送信アンテナから放射される電波の直接波、床面からの反射波、床面からの反射波より遅れて受信される、壁、天井等の反射波や測定系に起因する信号が含まれるが、電波遮断効果の算出には、床面からの反射波が到来する1.2ns以後の信号は不要信号である。このため、測定開始以後1.2nsまでの信号を最後10%をhanning windowとした窓関数を用いて切り出し、フーリエ変換することにより得られた信号の比を電波遮断効果とした。算出した電波遮断効果を図37、38に示す。

算出結果は、資料②の場合はアンテナ高さ1m、1.05mともにほぼ25dB以上の電波遮断効果があることを示す結果となっているが、資料③では1.05mでの算出結果は10dB程度の電波遮断効果しかないことを示す結果となっている。これは、オシロスコープでの測定結果からも明らかであるが、首部分からの進入電波のレベルが資料③で大きいことが原因である。これらのことから、本電波遮断効果算出法によれば、電波遮断衣服としての効果を特性劣化要因も含めて評価することが可能である。

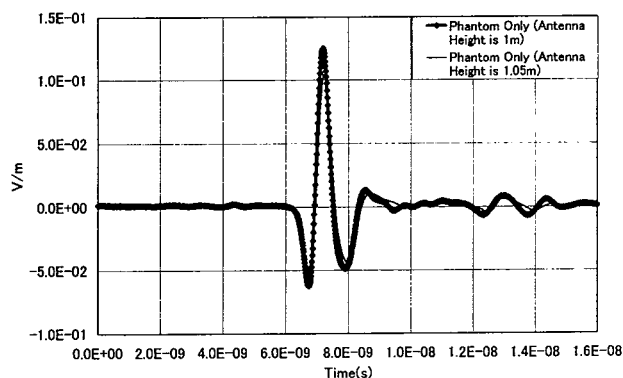


図5 擬似生体のみの場合の測定結果

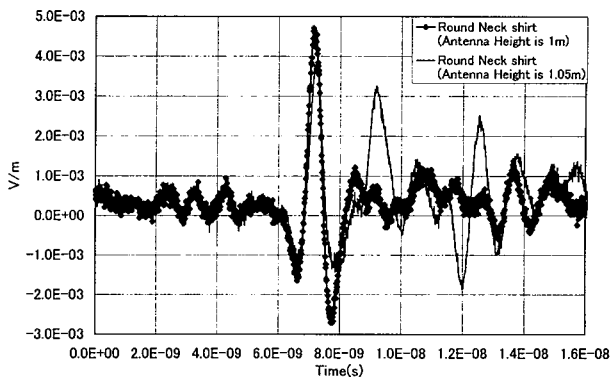


図6 丸首シャツの場合の測定結果

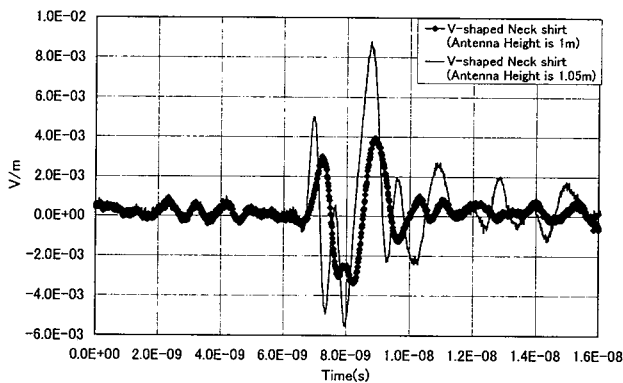


図7 V首シャツの場合の測定結果

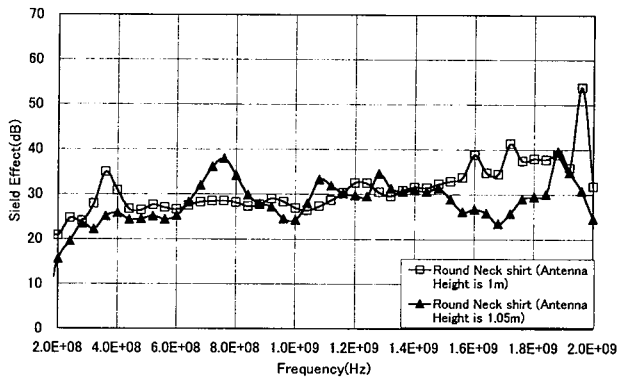


図8 丸首シャツの電波遮断効果

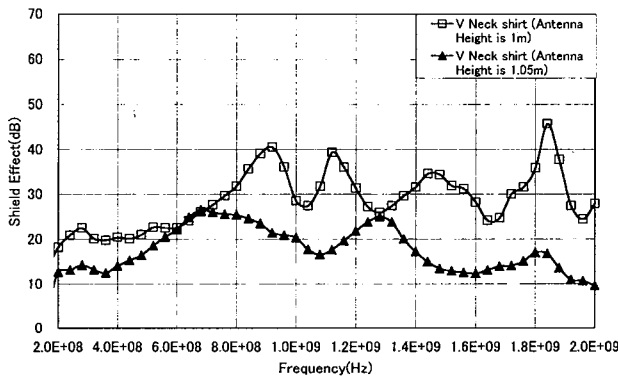


図9 V首シャツの電波遮断効果

3 機器筐体シールド効果測定結果

3.1 測定の概要

エレメント長 4 cm + 4 cm のダイポールアンテナとガウシアンパルス発生機を用いて機器筐体のシールド効果を評価する。評価は、以下に示す長野県情報技術試験所にて作成された 3 種類の筐体について行った。

測定は、電波放射用アンテナとしてエレメント長 2 cm + 2 cm のダイポールアンテナを機器筐体内部のほぼ中央に配置して、ガウシアンパルスを印加し、水平距離 3 m、床高さ 1.5 m に配置したエレメント長 4 cm + 4 cm のダイポールアンテナで受信する方法とした。なお、シールド効果の算出は、機器筐体がない場合の測定結果との比を求める方法とした。

- ① 図10-1と同じ外形で、スロットの無い筐体
- ② 幅40mmのスロット1本を有する筐体。
(図10-1)
- ③ 幅80mmのスロット1本を有する筐体。
- ④ 幅145mmのスロット1本を有する筐体。
- ⑤ 幅145mmのスロット2本を有する筐体
(図10-2)
- ⑥ 幅185mmスロット1本、幅55mmスロット1本、幅145mmスロット2本を有する筐体。
(図10-3)

なお、ガウシアンパルス発生器は Picosecond Pulse Labs Inc. 1000D をオシロスコープは Agilent Technology 54750A + 54754A を用いている。

3.2 測定結果

筐体がない場合の測定結果を図11に示す。測定結果は、13ns 以前に到来する直接波とそれ以降に到来する床面からの反射波を含んだ結果となっ

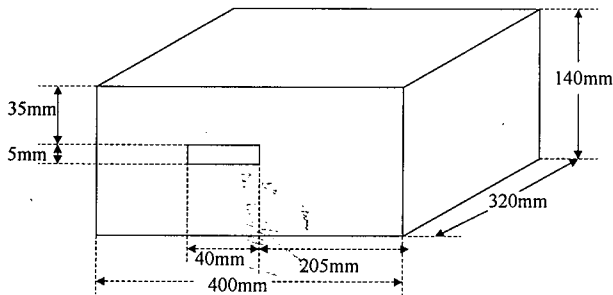


図10-1 前面に1スロットを有する筐体

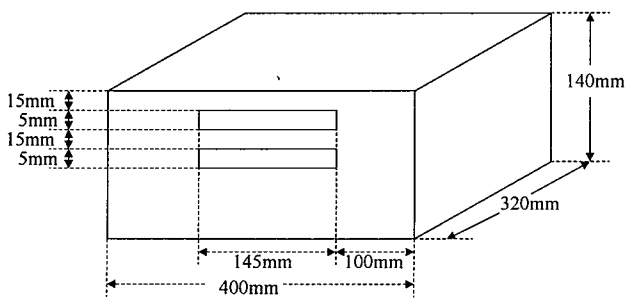


図10-2 前面に2スロットを有する筐体

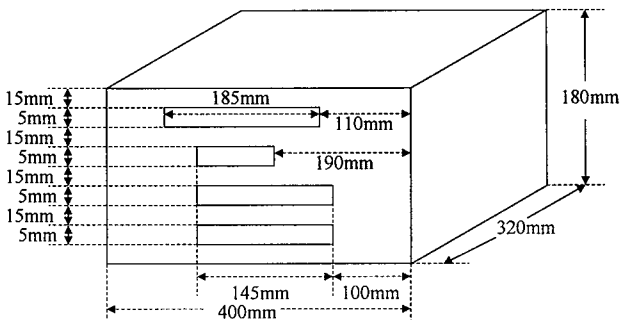


図10-3 前面に4スロットを有する筐体

ている。このため、図12に示すように、床面からの反射波を最後の10%をハニングウィンドウとした窓関数により切り出し、直接波のみを用いてシールド効果を算出することとした。①～⑤の筐体の場合の測定結果をそれぞれ図13～16に示す。なお、図中 [slot0] は①の筐体を、[slot1 (40mm)] は②の筐体を、[slot1 (80mm)] は③の筐体を、[slot1 (145mm)] は④の筐体を、[slot2] は⑤の筐体を、[slot4] は⑥の筐体を示す。

図13、14に送受信アンテナが水平の場合の測定結果と電波遮断効果の周波数特性を示す。これは、

アンテナが垂直な場合は水平の場合、機器筐体のスロットが水平方向であるためにスロットが励振されず、電波遮断特性の劣化はほとんど見られない。

図15、16に送受信アンテナが垂直の場合の測定結果と電波遮断効果の周波数特性をそれぞれ示す。筐体②、③、④のスロットが1本の場合の結果は、スロット長が長いほど、高周波域でシールド特性の劣化を示し、筐体④のスロット長が145mmの場合には、筐体⑤、⑥の場合の電波遮断特性と同程度まで劣化する。これは、アンテナが垂直な場合は、機器筐体のスロットが水平方向であるためにスロットが励振され、その長さに依存した周波数で特に電波遮断特性が劣化しているためと考えることができる。

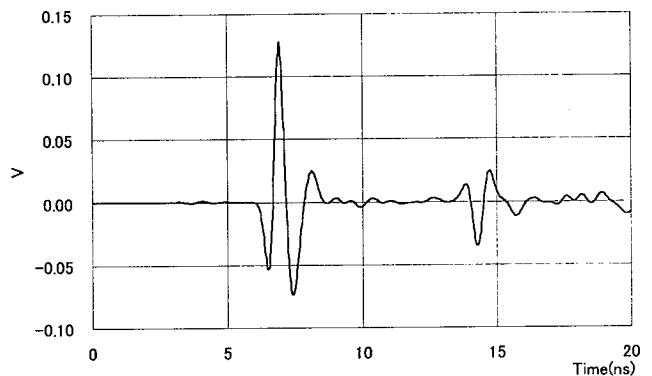


図11-1 アンテナのみ場合の測定結果 (アンテナ水平)

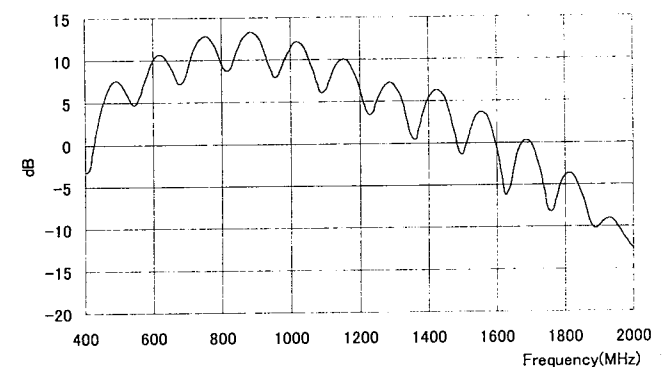


図11-2 アンテナのみ場合のスペクトラム (アンテナ水平)

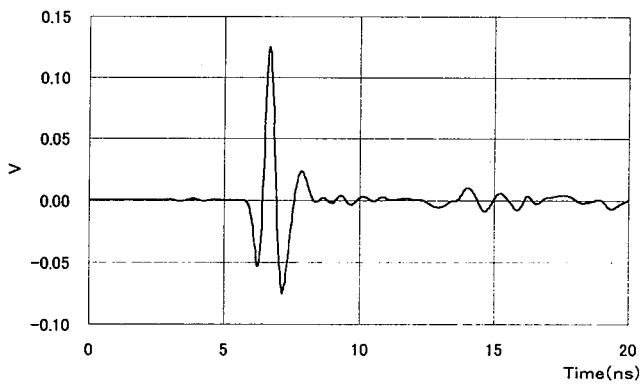


図11-3 アンテナのみの場合の測定結果（アンテナ垂直）

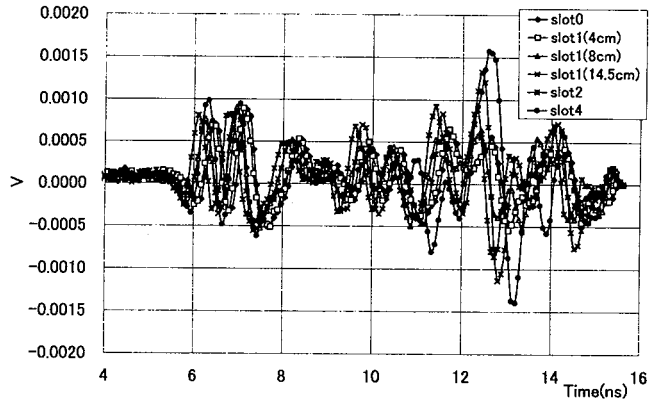


図13 アンテナが水平の場合の測定結果

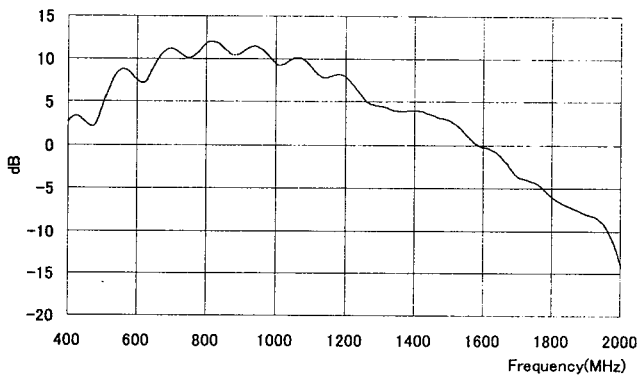


図11-4 アンテナのみ場合のスペクトラム（アンテナ垂直）

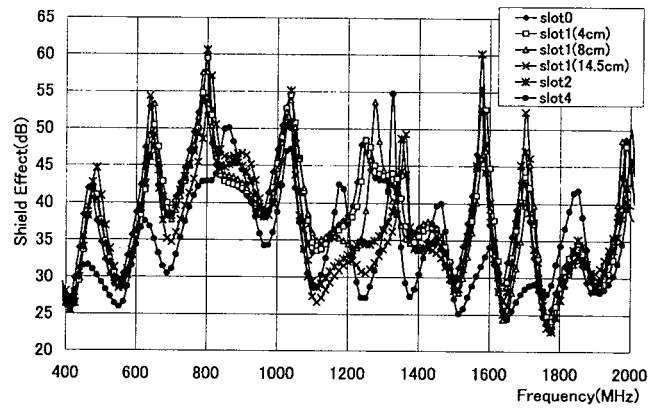


図14 筐体電波遮断効果の周波数特性（アンテナ水平）

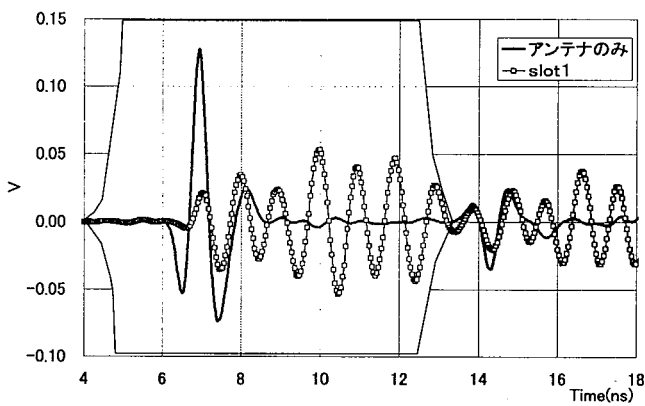


図12 窓関数による直接波の切り出し法

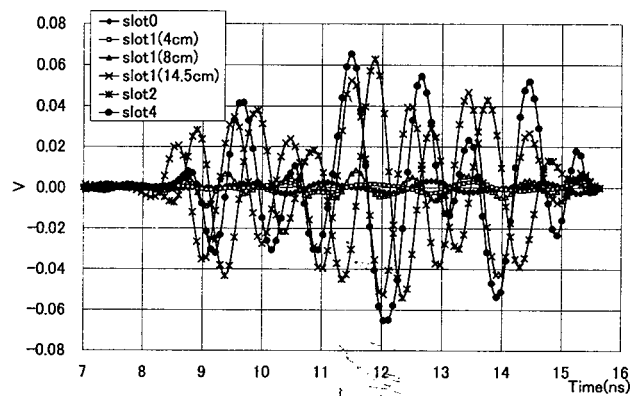


図15 アンテナが垂直の場合の測定結果

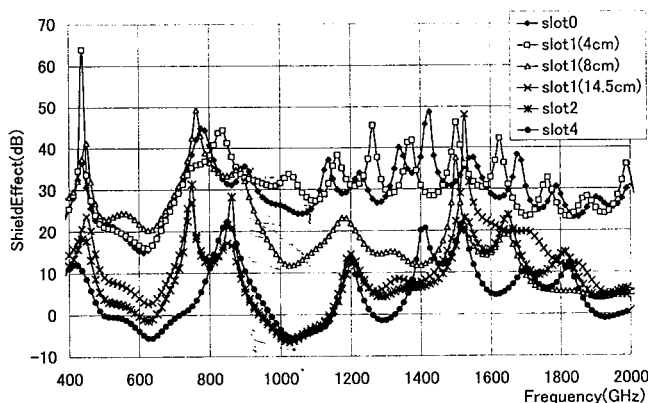


図16 筐体電波遮断効果の周波数特性（アンテナ垂直）

4 USBキーボードのタイムドメイン測定による放射特性評価

福島県ハイテクプラザ、茨城県工業技術センター、岡山県工業技術センターが分担して作成した3種のUSBインターフェース用パソコンキーボード基板（以下キーボードと記す）の放射ノイズ測定をタイムドメイン測定により実施する。被測定基板の写真を図17に示す。

測定は、キーボードのUSBケーブル上の信号を当センターが分担して開発した方向性探知センサにより測定し、このセンサで測定した信号に同期した信号のみを、2000回の平均化処理をして、水平距離3mの位置に配置したバイコニカルアンテナ、エレメント長4cm+4cm微小ダイポールアンテナそれぞれを用いて、オシロスコープによりタイムドメインで測定した。

センサでの測定結果とスペクトラムを図18に、図19に示す、センサでのタイムドメイン測定結果は、USBケーブル上で最も大きなレベルで測定される信号のみをオシロスコープのアベレーシング機能により測定したものである。測定結果ではピーク値の絶対値レベルは基板1、3で最も大きく、基板2の3倍程度の値となっている。測定結果の周波数スペクトラムも基板1、3が基板2に

比べて30MHz近辺で10dB以上高い値を示している。また、図46、47にそれぞれ示すバイコニカルアンテナ、ダイポールアンテナでの水平距離3mでの測定結果も同様、基板2が求めた周波数範囲において最もUSBケーブルに起因する放射ノイズレベルの低い基板であることがわかった。

次に、バイコニカルアンテナでの受信波をスペクトラムアナライザで測定した結果を図48に示す。測定結果は、パソコン単体の場合の結果が最も放射ノイズレベルが低く、各基板での測定結果は、どの基板が最も放射ノイズレベルが低くなっているか比較が困難である。これは、測定結果にはパソコンにUSBケーブルとキーボードが接続されたことに由来する放射ノイズ等被測定機器すべての放射を含んでいるためであり、タイムドメイン測定結果とは単純に比較することはできない。なお、各周波数スペクトラム測定結果にはアンテナファクターを考慮していない。

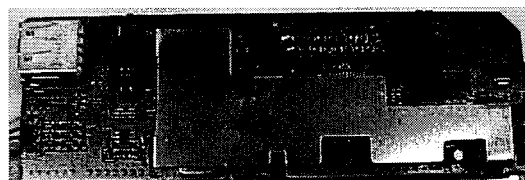


図17-1 基板1

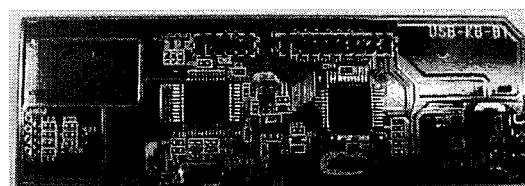


図17-2 基板2

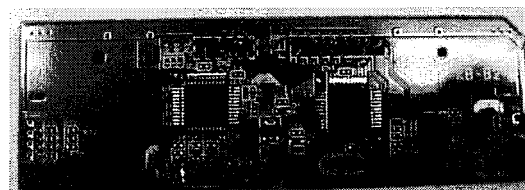


図17-3 基板3

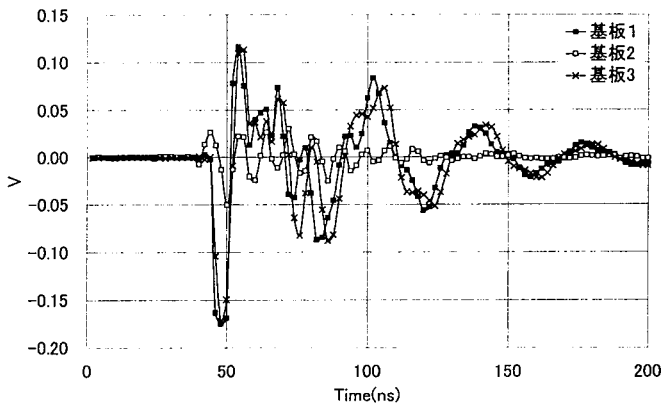


図18-1 方向性探知センサでの測定結果

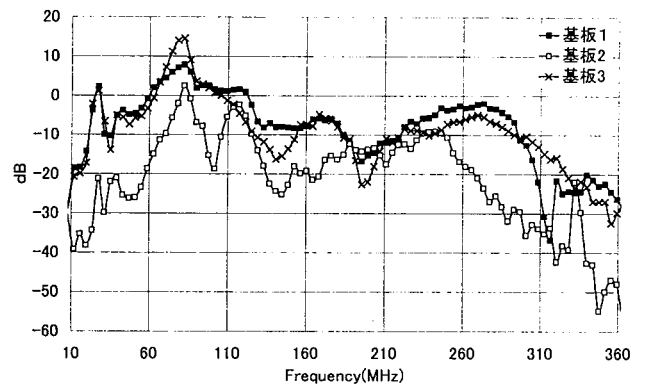


図19-2 測定結果のスペクトラム (バイコンカルアンテナ)

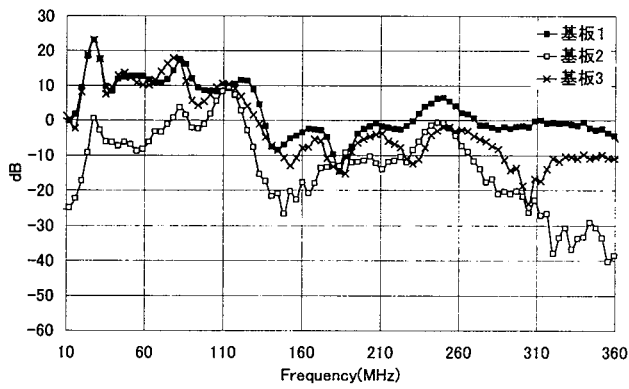


図18-2 方向性探知センサでの測定結果のスペクトラム

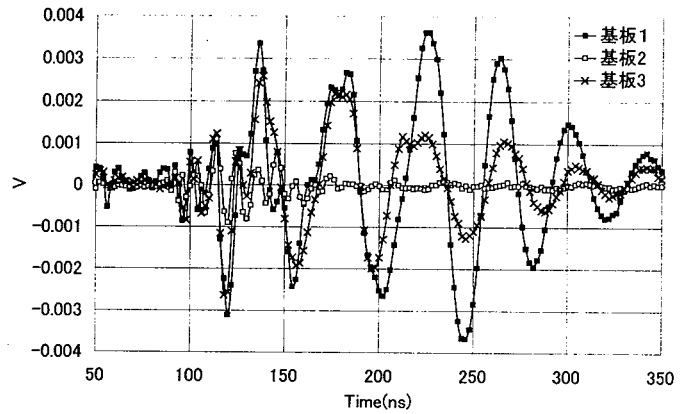


図20-1 微小ダイポールアンテナでの測定結果

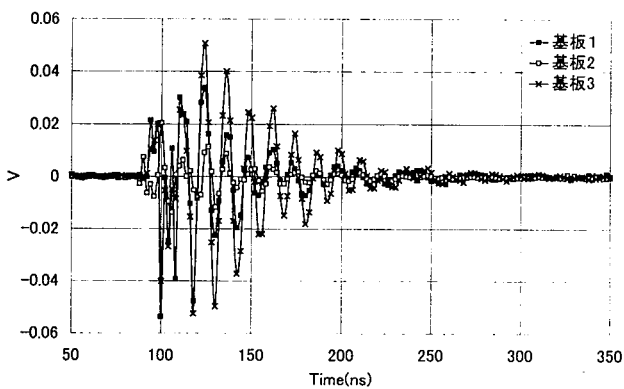


図19-1 バイコンカルアンテナでの測定結果

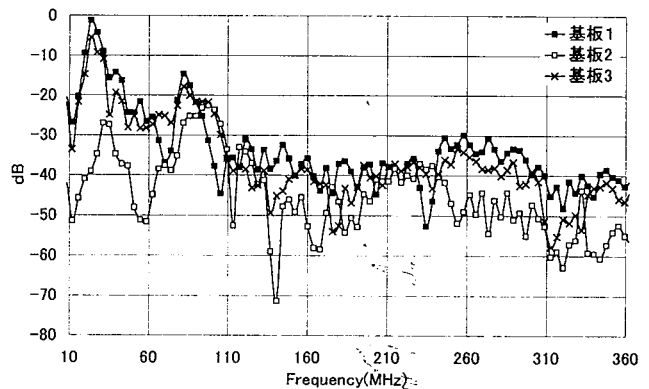


図20-2 測定結果のスペクトラム (微小ダイポールアンテナ)

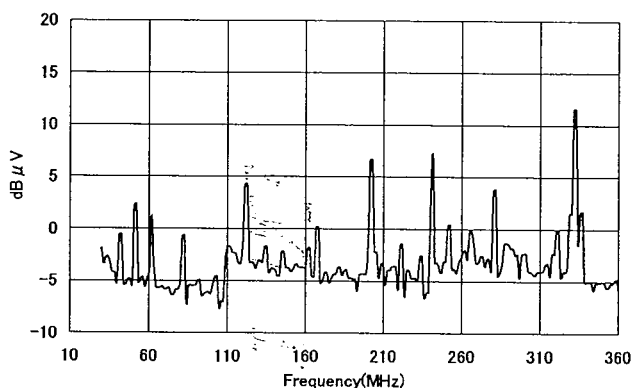


図21-1 スペクトラムアナライザでの測定結果
(パソコン単体)

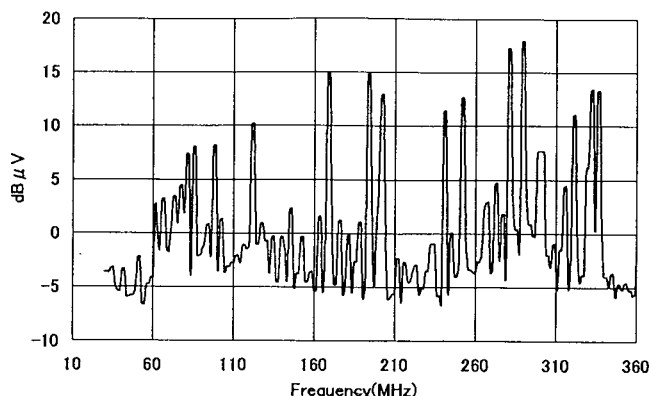


図21-4 スペクトラムアナライザでの測定結果
(基板3)

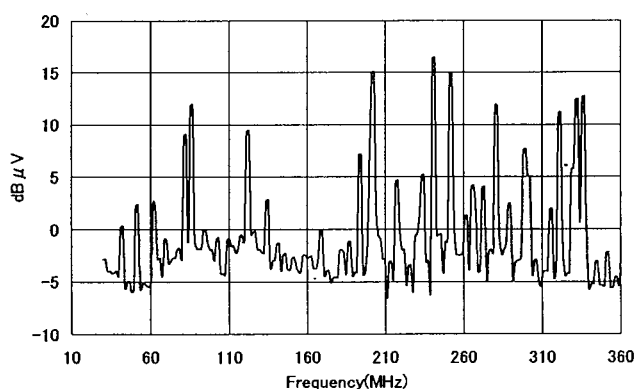


図21-2 スペクトラムアナライザでの測定結果
(基板1)

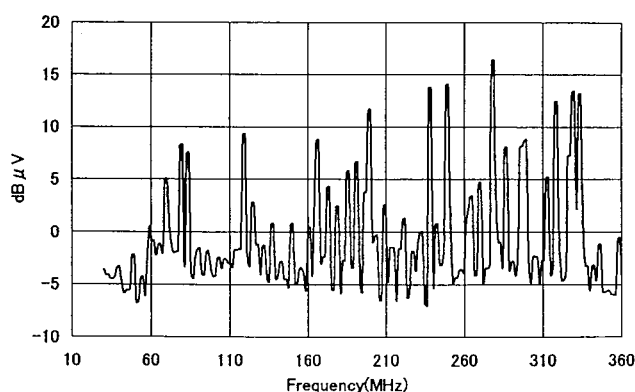


図21-3 スペクトラムアナライザでの測定結果
(基板2)

10 まとめ

当該研究では、オープンサイトや電波半無響室で実施しているEMCを企業内の実験室等のコンクリートで囲まれた室内でも実施することのできる手法として、時間領域測定を用いて実施する手法を提案し、応用例として電波の人体被曝量を低減することを目的とした電波遮断衣服、機器筐体それぞれの電波遮断特性評価を実施し、電波遮断特性評価手法のその有効性を示すことができた。

また、共同研究の成果品であるUSBインターフェース用パソコンキーボード基盤の放射測定、機器筐体のシールド効果測定をタイムドメイン測定により実施し、その特性評価の可能性を検証した。

今後、本研究での実用化に向けた課題の整理とその解決に向けた研究開発の実施、本研究成果の今後速やかな普及と企業の製品開発に有効に利用できる物として企業化していくこととしたい。

11 謝 辞

貴重な御意見を頂いた独立行政法人産業技術総合研究所小見山耕司氏、岡山大学工学部和田修己助教授、元東京工芸大学教授小西良弘氏、元京都大学大学院助教授中島将光氏、立命館大学理工学

部教授森本朗裕氏、中小企業庁地域ものづくり対策事業中小企業地域開発産学官連携促進事業費補助金共同研究者である、産学官連携推進委員会委員の皆さま、福島県ハイテクプラザ、茨城県工業技術センター、東京都立産業技術研究所、長野県情報技術試験所、岡山県工業技術センター担当者の皆様に感謝いたします。

なお本研究は、中小企業庁地域ものづくり対策事業中小企業地域開発産学官連携促進事業費により実施しています。

(参考文献)

- [1] CISPR Pub. 22, Limits and Methods of Measurement of Radio Interference Characteristics of Information Technology Equipment, 56pp, 1997.
- [2] 黒川悟、佐藤亨、“FDTD 法と室内空間時間領域測定を用いた自由空間放射測定推定の試み”、電子情報通信学会技術研究報告、EMCJ2000-24、(2000-6)
- [3] 黒川悟、佐藤亨、“微小ダイポールアンテナを用いた室内空間伝搬推定実験”、電気学会研究会資料電磁理論研究会、EMT-00-74、(2000-10)
- [4] 黒川悟、佐藤亨、田村禎啓、西川憲次、“DSP 技術を適用した次世代型センシング技術の開発に関する研究”、京都府中小企業総合センター技法、No. 29、2001
- [5] 西川憲次、黒川悟、安達雅浩、井尻和夫、“周期構造ダイポール型変調電極を有する光導波路型変調器の開発”、電気学会研究会資料電磁理論研究会、EMT-00-71 (2000-10)
- [6] 黒川悟、佐藤亨、“マイクロストリップ線路型ノイズ源探知センサの開発”、電気学会研究会資料電磁理論研究会、EMT-01-59、(2001-6)
- [7] 黒川悟、佐藤亨、“方向性結合器型プリント基板上電磁界センサの開発とその数値解析”、電気学会研究会資料電磁理論研究会、EMT-01-93、(2001-10)
- [8] S.kurokawa, T. Sato, “A Compact Time-domain Evaluation Scheme for Electromagnetic Shielding Clothes,” KJJC-AP/EMC/EMT 2001, pp. 86-89 (2001, 9)
- [9] 黒川悟、佐藤亨、堀克弘、石原謙、“被服形状による生体内携帯電話電波電磁界強度の低減に関する研究”、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-4-27 (1999、9)