

電子機器の外来電磁波に対する耐性強化手法の確立

— 放射イミュニティ耐性診断システムの構築 —

A Improving Method of Electric Apparatus against Immunity Test of Radio Wave

Construction of Diagnostic System for Radiated Electromagnetic Field Immunity Test

渡辺 哲史

Tetsushi WATANABE

キーワード 電磁波感受性／イミュニティ／IEC 規格／診断法／誤動作

KEY WORDS Electromagnetic susceptibility / Immunity / IEC standard / Diagnostics / Malfunction

要 旨

放射イミュニティ試験においては、通常、誤動作の確認はカメラによる外観検査のみしかできない。ここでは、誤動作の有無の確認は可能であるが、その原因の調査には不十分である。この原因究明のため、放射イミュニティの試験環境下で被試験機器の内部動作状態を確認するシステムを構築した。このシステムは、試験状態に与える影響を小さくするため、内部の電気信号を光信号に変換して伝送し、電波暗室外で動作状態をモニタリングするシステムである。このシステムの性能確認として、単純な試験基板を用いて誘起される電圧の理論値と測定値を比較し、両者が一致することを確認した。従って、試験状態に与える影響が小さいことが確認できた。

1 はじめに

近年、電子機器は広範囲に利用されており、それらの機器が意図したとおりに動作しなかった場合に社会に与える影響は非常に大きい。その誤動作の原因には様々なものがあるが、電磁ノイズに起因すると推定されるものも多く存在する。社会的に大きく取り上げられた現象としては、エレベーターの扉動作異常、飛行機の操縦システムの制御不能などが挙げられ、病院等での携帯電話の使用規制、航空機内での電子機器の利用制限もこれらの誤動作に由来する。

現在、電子機器に対してはこれらの誤動作を生じない高い信頼性が要求され、そのためのテストが行なわれている。高信頼性を確保するための耐電磁ノイズ性能評価試験はその影響が懸念される外来電磁ノイズの種類によって多種の試験が存在し、法律によって規制されているものや各企業・業界団体によって自主的な基準で試験を行なっているものがある。今回の研究テーマに挙げている IEC 61000-4-3 で規定される放射イミュニティ試験¹⁾も耐電磁ノイズ性能を評価する試験の 1 つであり、EU 域内への輸出にはほぼ必須の試験項目²⁾である。

この試験は図 1 に示す試験システムを用いて、外部と隔離された電波暗室内において、被試験機器に対して強い電波を照射し、誤動作が発生しないか確認を行なう試験である。

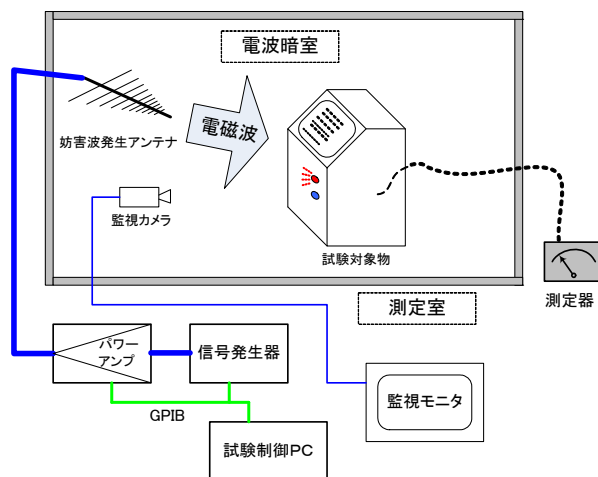


図 1 一般的な放射イミュニティ試験システム

2 目的

現状の試験法においては、試験機器の動作は電波暗室内に設置したカメラを用いて確認する。このため、可動部分の動作の状況、表示パネルの表示内容、エラー等を示すランプの点灯などについて確認を行ない、誤動作の判定を行なう。異常が発生したかどうかの確認には、これらの状態のモニタリングのみでよいが、誤動作が発生した場合には、何が原因で発生したかを確認して、被試験機器を改修する必要がある。一般的に、電子機器の動作状態を確認するには、その内部の電子回路に対して直接プローブを当てて計測器による動作

状況の確認が必要となる。しかし、この試験においては、電波暗室内は強電界下にあり、人体に対する安全性が危惧されるため、試験中電波暗室内に立ち入ることはできない。また、図1中破線で示すように試験対象機器から配線を引き出して動作状態をモニタリングすることも考えられるが、この引き出した配線が試験電波を引き込み、試験状態が変化することが懸念されるため、望ましくない。

そこで、本研究においては、このようなモニタリングのための接続の影響を極力排除しながら、被試験機器の内部状態をモニタリングできるシステムを構築し、これを用いた効率的な誤動作原因調査の手法を確立することを目指す。

3 放射免疫耐性診断システムの構築

今回構築するシステムのブロック構成図を図2に示す。前節で述べたとおり、内部状態の確認に際して金属ケーブルを電波暗室外に引き出す場合には、そのケーブルを通じて外来電波を被試験機器に引き込んでしまう懸念がある。これを回避するためには、電波暗室外に引き出すケーブルを非導電製のものとするしかない。そこで、被試験機器内の電気信号を、その機器の直近において光信号に変換し、光ファイバを用いて電波暗室外に引き出す方法が考えられる。測定室において、光信号を電気信号に復元することにより通常の測定器を用いて動作状態を確認することができる。

放射免疫試験においては、通常、80MHz-1000MHzの範囲において、約250の周

波数で試験を行なう必要がある。この試験周波数と被試験機の内部信号を取り出した測定器の結果を併せて記録する必要があるため、強電界の発生系と内部状態の計測系を組み合わせた試験システムとする必要がある。

このIEC 61000-4-3に適合した試験を行なうためには、それぞれの周波数に対して適切なアンテナへの供給電力を予め行なったキャリブレーション測定の結果に基づき調整する必要がある。この規格どおりの試験を行なうための制御には市販の試験プログラムを利用し、これに独自の変更を行なった特別仕様のプログラムを外注作成した。

一方、被試験機器に対する観測装置は、試験対象機器毎に変化し、状況に応じて修正することが必要となるため、予め仕様を決定して外注作成することができない。そこで、電磁波を放射する部分に関しては、市販の試験プログラムをベースとして外部よりの制御コマンドによって試験の設定・進行を制御し、別のコントローラーによって被試験機器からの観測データを取り込み、試験の進捗状況とあわせた記録を行なうこととした。この診断システム全体を制御するプログラムについては自作することにより、試験対象に応じた臨機応変な対応が可能となり、様々な測定項目に対する影響評価が可能となる。

1台のコントローラーによってこの2つのプログラムを実行することも原理的には可能であるが、それぞれのプログラムの稼動するWindowsにおいては複数のプログラムが動作する際のリソースの競合問題などが発生することが懸念されるため、

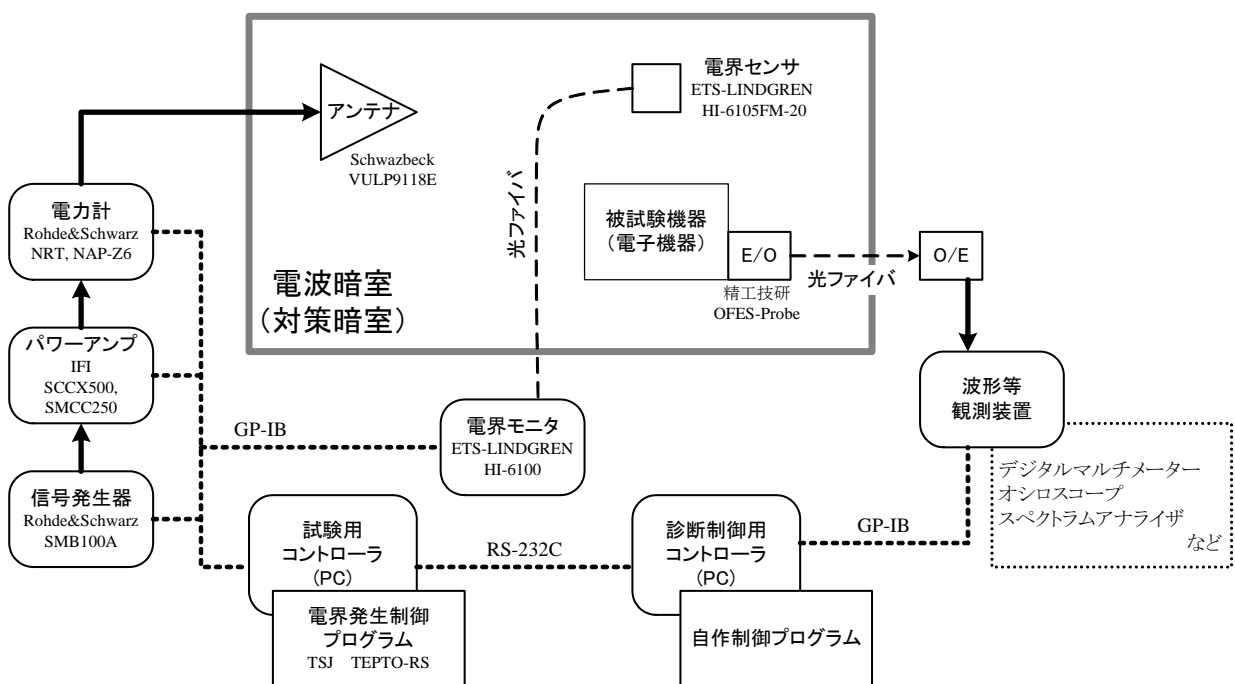


図2 放射免疫耐性診断システム ブロック構成図

異なるコントローラ上で実行し、2つのプログラム間の通信は RS-232C のシリアル通信によって行なうこととした。

4 システムの性能確認

4.1 光伝送システムの伝送特性

今回導入した E/O, O/E 変換部に対する基本的な性能を確認した。E/O 部は図 3 に示す外形であり、電気光学結晶により入射したレーザー光の偏波面を加えた電界に応じて回転させるものである。このため、電源が不要で小型である。この伝送系の周波数特性を図 4、振幅特性を図 5 に示す。

図 4 より、今回使用した光伝送システム(OEFS)は、実験に使用する 80MHz から 1000MHz に亘って偏差 6dB 程度の比較的平坦な特性であることが確認できる。同軸ケーブル(5D-FB)と比べると周波数特性は大きく異なっており、単純な近似式は適用できないため、計測システムではこの特性の実測値を用いて補正を行なうこととした。

図 5 より、光伝送システムに使用可能な入力電圧の範囲が確認できる。30dB μ V 程度が使用できる下限であり、機器仕様より 107dB μ V が最大入力であるため、この間の 70dB 程度が利用可能なダイナミックレンジであることがわかる。

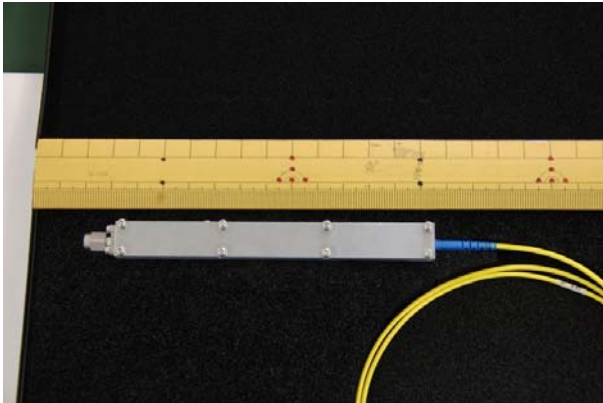


図 3 E/O 変換部 外観

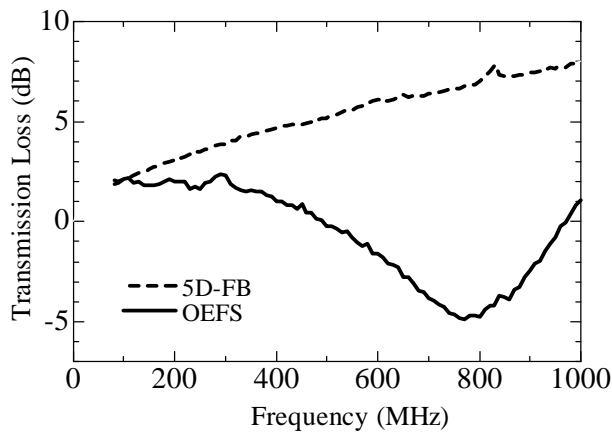


図 4 光伝送システム 伝送周波数特性

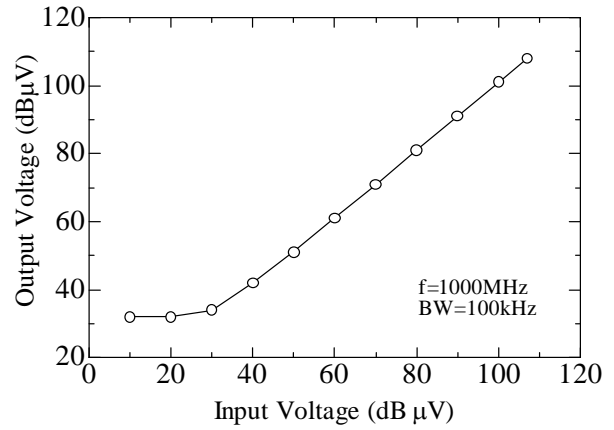


図 5 光伝送システム 入出力振幅特性

4.2 試験基板の感受性測定

いくつかの基本的な構造のプリント回路基板に対して、電磁波を照射した際の基板上的線路に誘起される電圧の測定値と理論値を比較した。今回は、コモンモードの発生が大きい基板構造(図 6)に対する誘起電圧の実験結果を示す。

一般的に、ノイズ放射が大きくなるような欠陥を持った構造では、外来ノイズに対する感受性も高く、誤動作の原因となりやすい。今回構築したシステムでは、このような問題となる構造を探索することが主たる目的であるため、きれいな基板構造ではなく、欠陥を含んだ構造において正確な計測が行なえるかを評価することが必要である。このため、図 6 に示す基板を用いた。この基板は、2 層基板で表面にはマイクロストリップ構造の信号線が 1 本配置されている。裏面は図 6 に示した範囲全体がグラウンド面となっており、コネクタ側の一部は十分に幅の広いグラウンド面であるが、その先の部分は幅の狭い不十分なグラウンド面である。

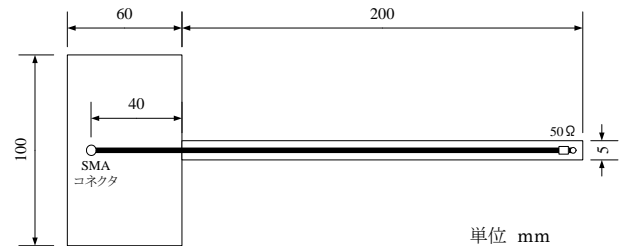


図 6 試験基板

この基板を図 7 に示すように配置し、表 1 に示す条件で SMA コネクタに誘起される電圧を測定した。その結果を図 8 に示す。

表 1 試験条件

基板(中心)位置	床面より 0.9m 上方
基板の向き	基板表面が電界照射面
試験電界強度	3V/m
電界の向き	水平偏波

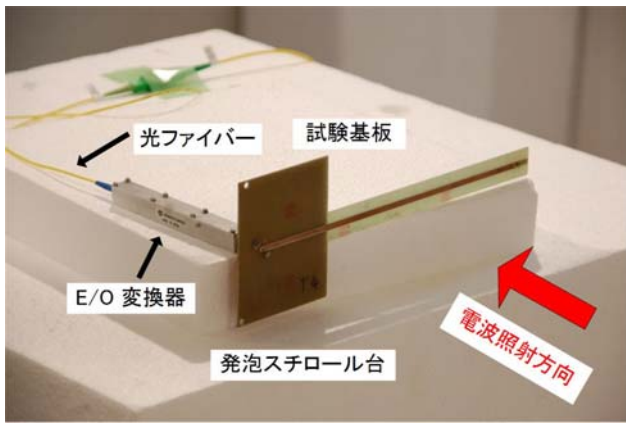


図7 試験配置

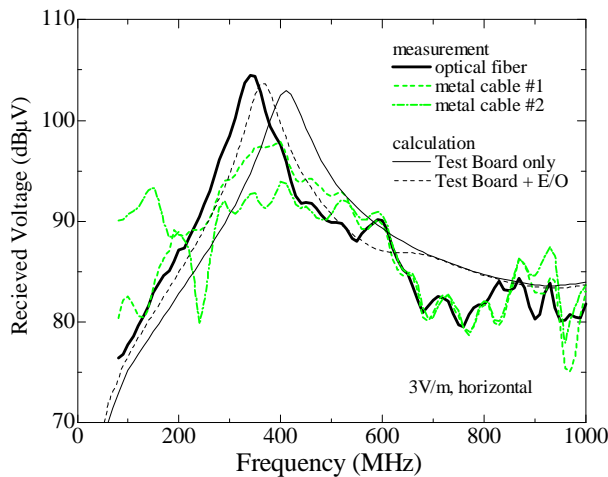


図8 試験基板の感受性測定結果

電圧を測定するためのケーブルとして、金属製の同軸ケーブルを用いた場合と E/O 変換器を通して光ファイバにより接続した場合を測定した。同軸ケーブルによる測定では、同じケーブルを異なった引き回しを行なうことにより 2 回の測定を行なった。その結果、300-400MHz 近辺に観測されたピーク電圧において、光ファイバ接続と同軸ケーブル接続の場合で値が 10dB 以上異なっており、また、同軸ケーブル接続ではケーブルの位置によって測定値が 5dB 程度変化していることがわかる。これは、同軸ケーブルがこの感受性測定に影響を及ぼしているためである。

次に、試験基板に対する感受性の理論的検討を行う。理想的なマイクロストリップ構造であれば、文献 3 に従って照射される電界による誘起電圧の計算が可能であるが、今回の試験基板においては構造的な欠陥に起因する誘起電圧が主となるため、このような理論的導出は困難である。そこで、アンテナへの供給電圧とプリント基板上の回路に誘起される電圧に相反性があることを利用した。

今回実験に使用したプリント基板からのノイズ放射は過去の研究⁴⁾より図 9 に示すコモンモードモデルからの放射として計算可能である。このモ

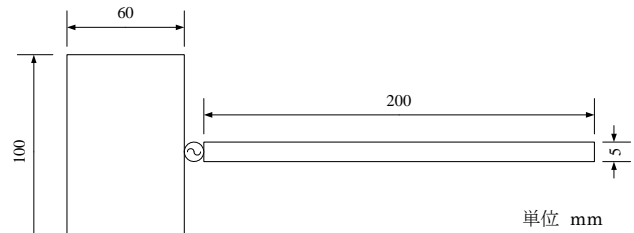


図9 試験基板のコモンモードモデル

デルからの放射の解析結果および送信アンテナのアンテナ係数より上記の相反性を利用してプリント基板上の誘起電圧を計算した。また、E/O 変換器自体も金属ケースに収められているため、この影響も懸念される。そこで、この部分もコモンモードモデルに含めた場合についても同様に計算を行なった。これらの結果も図 8 に示した。この計算による誘起電圧と光ファイバ接続による測定結果はピークレベルがほぼ等しいことがわかる。また、計算において、E/O 変換部分を含め入れることによって、そのピーク値を与える周波数がほぼ一致していることが確認できる。今回の測定システムでは、E/O プロブを含めることによって理論解析どおりの測定が可能であることが確認できた。従って、E/O プロブもわずかな影響を与えているが、従来のケーブル接続に比べるとはるかに低い影響に抑えられていることが確認できた。

5 結論

今回構築した放射イミュニティ耐性診断システムにおいては、試験環境下にあるシステムに対する外来電波の影響を正確に捉えることができ、また、この観測のための接続が試験に与える影響は小さいことが確認できた。

今後は、このシステムを実際の電子回路に適用できるようにプローブ部についての検討を行い、さらに、誤動作の原因を探求する手順の確立を進めていく予定である。

参考文献

- 1) IEC 61000-4-3: 2002 (JIS C 61000-4-3:2005), "放射無線周波電磁界イミュニティ試験"
- 2) 日本規格協会 編, "CE マーキング入門", 日本規格協会, 1995
- 3) 上芳夫, "EMC における伝送回路理論とその展開", 電子情報通信学会誌 B, Vol. J90-B, No. 11, pp.1070-1082, 2007.
- 4) 渡辺哲史ほか, "EMCJ 不平衡度変化に基づくコモンモードアンテナモデルを用いたプリント回路基板のコモンモード放射予測の高速計算法", pp.35-40, EMCJ 2005-16, Vol. 105, No.81, 電子情報通信学会技術報告, 2005.