

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760200

研究課題名（和文）パルス回転電磁界を用いた

広帯域放射イミュニティ試験方式の開発とその評価

研究課題名（英文）Development and evaluation of broadband radiated immunity test method using RF-pulsed rotating-EM field

研究代表者

村野 公俊（MURANO KIMITOSHI）

東海大学・工学部・准教授

研究者番号：60366078

研究成果の概要：複雑な電磁環境において、電子機器が外来電磁妨害波の影響を受けることなく正常に作動するためには、外来電磁妨害波に対する電子機器の耐性（イミュニティ）を向上させる必要がある。本研究では、複雑な電磁環境を模擬することのできる、パルス回転電磁界を用いた電子機器の放射イミュニティ試験方式を提案・開発し、その有効性を検証した。イミュニティ試験時の印加電磁界として用いる RF パルス回転電磁界の発生方法及び基本特性について検討するとともに、本方式を用いることにより電子機器のイミュニティ・感受性の弱点を特定できることを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,900,000	0	2,900,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	150,000	3,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電力工学・電気機器工学

キーワード：電気・電磁環境，感受性・イミュニティ特性，EMC 測定

## 1. 研究開始当初の背景

情報関連機器や携帯情報端末が急速に進展するにつれ、それらから発せられる不要な電磁波の外部に与える影響に対する懸念が広がっている。高度化・高速化された携帯情報端末からは、通信に必要な電磁波のみならず、広帯域なスペクトルを有する不要な電磁波も同時に放射されていることが知られており、航行用電子計器や乗客が装着している心臓ペースメーカー等医療用電子機器を外來電磁妨害波から守るため、公共交通機関等においては、現在でも携帯情報端末等の使用が

制限されている。電磁妨害波は、携帯情報端末のみならず一般の電子機器からも放射されており、我々の周囲の電磁環境の複雑化は、現在も進行しつつある。

外來放射電磁妨害波に対する電子機器の耐性（放射イミュニティ）を改善するために、最近では放射イミュニティを電子機器の設計段階で考慮すること（EMC 設計）が検討されているが、より効果的な EMC 設計を行うためには正確で詳細な電子機器の感受性・放射イミュニティ特性を知る必要があり、放射イミュニティ特性測定法のさらなる改

善が求められる。

電子機器の放射イミュニティ試験法については、国際電気標準会議（IEC）の国際規格等で規定されているが、近年の複雑な電磁環境に対応するために、IECにおいてもさらに高い周波数領域に対する放射イミュニティ試験法に関する規定の策定がすすめられている。従来の国際規格によると、放射イミュニティ試験において電子機器に印加される電磁界として無変調あるいは変調度 80% の振幅変調波を用いることとされている。しかし、携帯情報端末から放射される電磁波やデジタル化・高速化のすすむ各種電子機器からの不要電磁波は極めて広帯域かつ複雑なスペクトルを有しており、従来の国際規格で規定されている試験用印加電磁界でこれら複雑な電磁妨害波を模擬することは事実上不可能である。

報告者らはこれまで、より実環境に近い放射イミュニティ試験を実現するため、さまざまな方向の偏波面を有する電磁界（回転電磁界）の原理とその発生方法について検討し、安定かつ簡易なシステムによって同電磁界を発生させる手法を開発し、放射イミュニティ特性・感受性測定への適用の可能性を検討してきた。この方式は、新たな国際規格として提案することを前提として検討されたものではないため同規格に準拠した試験法ではないが、従来よりも詳細な電子機器のイミュニティ特性を得ることができるため、得られた特性を EMC 設計に適用することにより、電子機器の EMC 特性の抜本的な改善に寄与することが期待できる。また、回転電磁界に関するこれまでの検討結果から、さまざまな方式で変調された回転電磁界の発生が可能であることが明らかになっているが、このことは、より実環境に近い電磁環境下で詳細な放射イミュニティ特性・感受性測定の実現が可能であることを示している。

## 2. 研究の目的

本研究では、高周波パルス（RF パルス）様の回転電磁界を印加電磁界とする新たな電子機器の放射イミュニティ特性・感受性測定方法を提案する。RF パルスは広帯域なスペクトルを有し、そのスペクトルの密度や帯域はパルス繰返し周期やパルス幅により任意に制御することが可能である。このような RF パルス様の回転電磁界を放射イミュニティ特性・感受性測定時の印加電磁界に適用することにより、広帯域かつ複雑な電磁界を模擬しながら詳細かつ迅速に電子機器の放射イミュニティ特性・感受性を得ることができるだけでなく、電子機器の放射イミュニティの弱点特定等への応用が期待できる。本研究では、RF パルス回転電磁界の原理・発生方法について検討し、その基本特性について実

験と理論の両面から明らかにするとともに、放射イミュニティ試験への適用可能性について検討することを目的としている。

## 3. 研究の方法

### (1) RF パルス回転電磁界の原理と発生方法の検討

まず、本研究で提案する放射イミュニティ特性・感受性測定方式における印加電磁界である RF パルス回転電磁界について、理論的に検討するとともに、その発生装置の開発（設計・試作）を行う。また本装置を用いて発生させた RF パルス回転電磁界の基本特性について実験的に明らかにする。

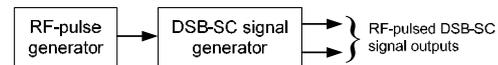
RF パルス回転電磁界は、 $\pi/2$  位相の異なる 2 波の正弦波で RF パルス信号を平衡変調することによって得られる 2 波の RF パルス DSB-SC 波を用いて発生させることができる。RF パルス信号を  $f(t)$ 、電磁界の回転角周波数  $p$  とすると、2 波の RF パルス DSB-SC 波はそれぞれ次式で表現できる。

$$A_x = f(t) \sin pt$$

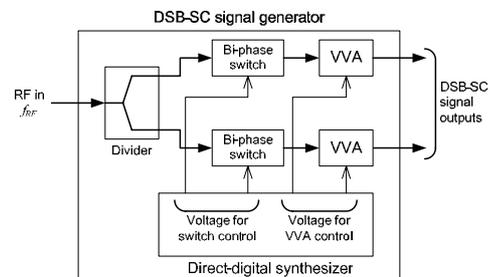
$$A_y = f(t) \cos pt$$

これらの RF パルス DSB-SC 波を直交するアンテナの各々の素子に給電することにより、周波数  $p/2\pi$  で回転する RF パルス回転電磁界を発生させることができる。

回転電磁界型放射イミュニティ特性・感受性測定においては、電磁界の回転周波数  $p/2\pi$  を比較的低い周波数（1Hz 以下）に設定しなければならないため、DSB-SC 波を構成するスペクトルの間隔が狭く、ミキサなどを用いて DSB-SC 波を発生させた場合、フィルタ等を用いて不要な成分を除去することが事実上不可能となる。そこで本研究では、RF パルスの振幅と位相を直接制御することによって、2 波の RF パルス DSB-SC 波を発生させる（図 1 参照）。



(a) RF パルス DSB-SC 波発生方法



(b) DSB-SC 波発生器の構造

図 1 RF パルス DSB-SC 波発生装置

RF パルス DSB-SC 波は、RF パルス信号を DSB-SC 波発生器に入力することにより発生

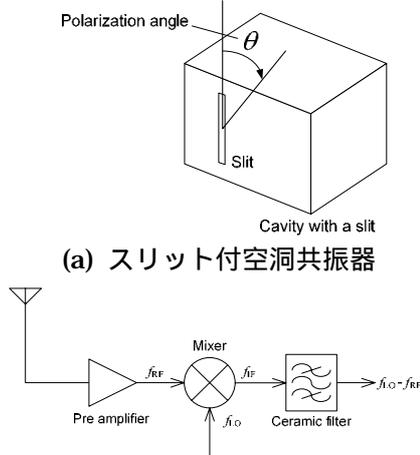
させる。DSB-SC 波発生器は、電圧可変減衰器 (VVA) と 2 相スイッチから構成され、入力された信号の振幅と位相が制御される。VVA と 2 相スイッチの制御電圧は、電子計算機によって制御されるダイレクト・デジタル・シンセサイザ (DDS) によって発生させるため、ソフトウェア的な設定によって電磁界の回転周波数を任意に制御することができる。また DSB-SC 波発生器に入力される RF パルス信号は、正弦波信号を RF スイッチによって断続することにより発生させているが、RF スイッチの制御電圧も DDS を用いて発生させているため、パルス繰返し周期やパルス幅を任意に設定することが可能である。したがって、回転周波数のみならず、帯域やスペクトルの密度も任意に設定できる RF パルス回転電磁界を発生させることができる構成である。

試作した装置を用いて発生させた RF パルス回転電磁界の検証は、電波無響室 (6 面電波暗室) にて実施する。6 面電波暗室内に配置した送信アンテナから放射した RF パルス回転電磁界を、同室内の送信アンテナから 4 m 離れた位置に配置した受信アンテナにより受信し、ディジタイジング・オシロスコープ及びスペクトラムアナライザを用いて観測する。

(2)RF パルス回転電磁界型放射イミュニティ特性・感受性測定方式の有効性の検証方法

方法(1)において開発した RF パルス回転電磁界発生装置を用いて、実際に放射イミュニティ特性・感受性測定を実施し、RF パルス回転電磁界型放射イミュニティ特性・感受性測定方式の有効性についての検証を行う。

検証実験において用いる被測定機器 (EUT) は、電子機器の金属筐体を模擬したもの (スリット付空洞共振器) と、狭帯域な感受性を有する受信機を模擬したもの (狭帯域 EUT) の計 2 種類である (図 2 参照)。



(a) スリット付空洞共振器  
(b) DSB-SC 信号発生器の構造  
図 2 検証用 EUT

スリット付空洞共振器はスリットを介して内部の電磁界が外部と結合する構造であり、通風孔等を有する実際の金属筐体を模擬したものである。また狭帯域 EUT は、受信帯域を狭くすることによってイミュニティ・感受性の弱点をあえて見落としやすくした EUT であり、提案する方式によるイミュニティ・感受性弱点特定の可能性の検証に用いる。

各種 EUT の感受性測定は、RF パルス回転電磁界観測時と同様、6 面電波暗室内で実施する。EUT は同室内に配置されたターンテーブル上に配置され、あらゆる方向から電磁界が印加される様子を模擬する。

4. 研究成果

(1)RF パルス回転電磁界の検証

RF パルス回転電磁界の原理に基づき、設計・試作した装置を用いて発生させた RF パルス DSB-SC 波の観測結果の一例を図 3 に示す。

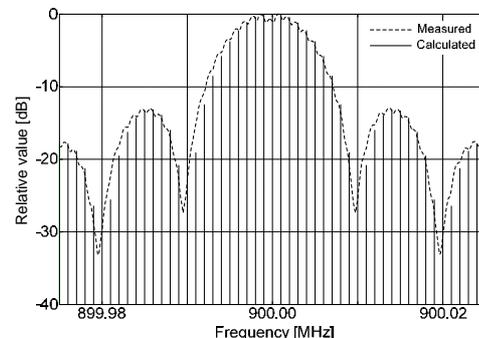
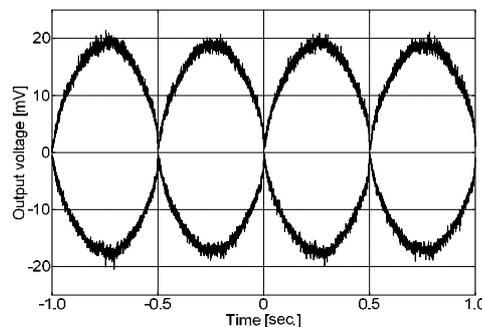
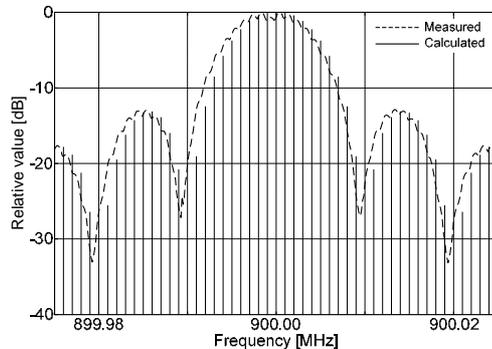


図 3 RF パルス DSB-SC 波の観測例



(a) オシロスコープによる観測結果



(b) スペクトラムアナライザによる観測結果  
図 4 RF パルス回転電磁界の観測結果

これは、パルス繰返し周期 1ms, デューティ比 10%, 回転周波数 1Hz, RF 信号周波数 900MHz の RF パルス回転電磁界を発生させるための RF パルス DSB-SC 波を、スペクトラムアナライザにより観測した結果である。一方 図 4 は 発生させた RF パルス DSB-SC 波を用いて電波暗室内に発生させた RF パルス回転電磁界の観測結果の一例である。図 4(a)は受信アンテナの出力をオシロスコプの包絡線モードで測定した結果であり、受信点において電磁界が 1Hz で回転している様子を確認することができる。また図 4(b)は、スペクトラムアナライザによる観測結果であり、電磁界が RF パルスのスペクトルを有している様子が確認できる。以上の結果から、受信点における RF パルス回転電磁界の発生を実験的に確認した。

## (2)RF パルス回転電磁界型放射免疫特性・感受性測定方式の有効性の検証結果

RF パルス回転電磁界を印加電磁界として実施された 2 種類の EUT の感受性測定結果の一例を図 5, 6 に示す。

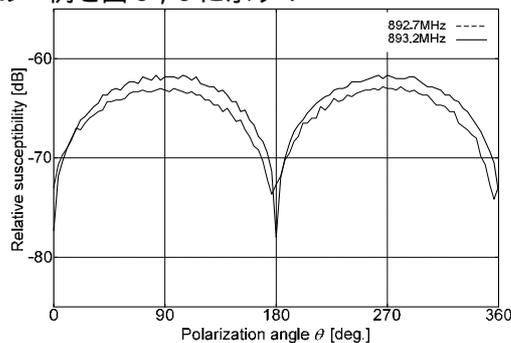
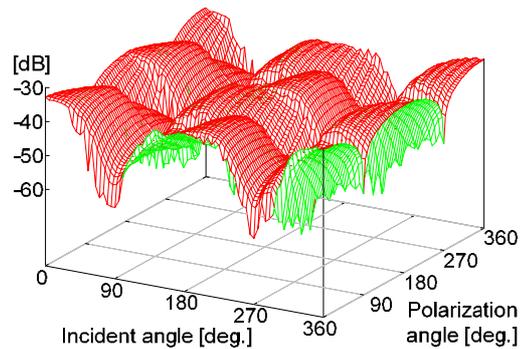


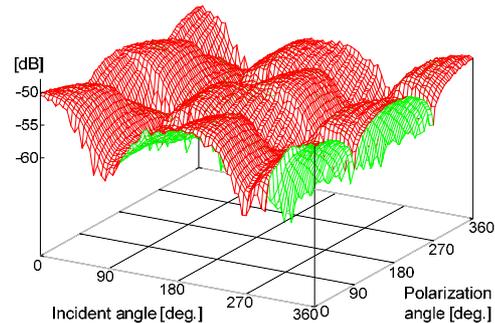
図 5 スリット付空洞共振器の感受性測定例

図 5 は、スリット付空洞共振器の感受性測定結果である。本空洞共振器は比較的高い Q を有しており、周波数 892.7MHz で共振する構造で、同周波数の電磁界に対して高い感受性を示すが、同周波数から 500kHz 離れた周波数 893.2MHz の RF パルス回転電磁界に対しても感受性を示している様子を確認することができる。周波数 893.2MHz の無変調回転電磁界を用いた場合、同様の感受性を観測することができないことから、RF パルス回転電磁界の持つ広帯域性により、共振周波数と異なる RF 信号周波数であっても、RF 回転電磁界を用いた場合は本 EUT の感受性を検出可能であることがわかる。

また図 6 は、狭帯域 EUT の感受性測定結果である。本 EUT は、外部電磁界の印加により受信された RF 信号の周波数をミキサにより 10.7MHz に変換したあと、FM 受信機用の中間周波フィルタを用いて帯域を 500kHz に制限しているため、受信中心周波数から 250kHz 以上離れた周波数の印加電磁界に対して本 EUT は感度を示さない構造である。



(a)無変調回転電磁界印加時



(b) RF パルス回転電磁界印加時

図 6 狭帯域 EUT の感受性測定例

図 6(a)は、狭帯域 EUT の受信中心周波数を 800MHz に設定し、同周波数の無変調回転電磁界（回転周波数 0.1Hz）を印加した場合の感受性パターンである。一方、図 6(b)は同様に設定した狭帯域 EUT に、パルス繰返し周期 1ms, デューティ比 1%, 回転周波数 0.1Hz, RF 信号周波数 799.5MHz の RF パルス回転電磁界を印加した場合に得られた感受性パターンである。RF パルス回転電磁界を用いた場合、本 EUT の受信中心周波数から 500kHz 離れているにもかかわらず、無変調回転電磁界を印加した場合と同様の感受性パターンが得られている様子を確認することができる。このことは、高い感受性を示す周波数が不明であっても、RF パルス回転電磁界を用いることにより EUT の感受性検出が可能であることを示している。

以上の結果から EUT の免疫弱点特定への応用が可能であることが明らかとなった。本研究で提案する方式は、国際規格に準拠した測定法ではないが、本方式によって得られた電子機器の免疫特性・感受性が、電子機器の EMC 設計に有効な指針を与えることが期待できる。

## 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 3 件)

Kitimoshi Murano, Majid Tayarani, Fengchao Xiao, Yoshio Kami, "New Ra-

diated RF Immunity/Susceptibility Test Method Using RF-pulsed Rotating-EM Field,” Proceedings of 2008 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, vol. 1, pp.79-83, 2008, 査読有.

村野公俊, タヤラニマジド, 肖鳳超, 上芳夫, “RF パルス回転電磁界を用いた感受性測定,” 2009年電子情報通信学会総合大会論文集通信講演論文集 1, B-4-38, p.381, 2009, 査読無.

村野公俊, タヤラニマジド, 肖鳳超, 上芳夫, “放射イミュニティ・感受性測定用 RF パルス回転電磁界の基本特性,” 電子情報通信学会技術研究報告 EMCJ2007-112, vol. 107, No. 456, pp.37-42, 2007, 査読無.

[学会発表](計3件)

Kimitoshi Murano, Majid Tayarani, Fengchao Xiao, Yoshio Kami, “New Radiated RF Immunity/Susceptibility Test Method Using RF-pulsed Rotating-EM Field,” 2008 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Cobo conference center, Detroit, Michigan, U.S.A., Aug. 19, 2008.

村野公俊, タヤラニマジド, 肖鳳超, 上芳夫, “RF パルス回転電磁界を用いた感受性測定,” 2009年電子情報通信学会総合大会(B-4), 愛媛大学, 2009年3月19日.

村野公俊, タヤラニマジド, 肖鳳超, 上芳夫, “放射イミュニティ・感受性測定用 RF パルス回転電磁界の基本特性,” 電子情報通信学会環境電磁工学研究会, 佐賀大学, 2008年1月25日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村野 公俊 (MURANO KIMITOSHI)

東海大学・工学部准教授

研究者番号: 60366078

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし