

本学に設置した電磁障害測定装置の性能について

吉 田 昭 二

On Performance of Electromagnetic Interference Measuring Equipment installed in Aichi Institute of Technology

Shoji YOSHIDA

Electromagnetic compatibility, E M C, may be mainly defined as the effects of man-made electromagnetic interference, E M I, produced by electric and electronic apparatus. The seriousness of this interference ranges from annoying interference that affects a radio or television channel to interference that causes failure of an important communication channel or electronic computer.

For the purpose of studying the electromagnetic compatibility, electromagnetic interference measuring equipment conformed to C I S P R (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) and J R T C (Japan Radio Technical Council) specification has been installed in our Institute.

The author of the article has made closer investigation and found very satisfied results on the electromagnetic interference measuring equipment.

1. はじめに

電気・電子機器の発達普及に伴ってそれらの機器相互間の干渉妨害が非常に重要な問題となっている。すなわち1つの機器が単独には正常に動作する場合でも、近接して他の機器が存在する場合、またはそれらの機器を総合して1つのシステムとして動作させる場合には、使用上の問題のみならず設計製造の段階においても、この干渉妨害は充分考慮されねばならない。

とくに最近のように無線通信の利用範囲の拡大、会社工場等における設備のエレクトロニクス化、家庭生活における電化およびコンピューターの普及などによって、それぞれが加害者の立場であると共に被害者の立場にもなり得る状況となり、これらの機器間の相互干渉妨害の調査研究は重要な問題となってきている。

元来このような妨害雑音はその性質が複雑多岐にわたるため、測定器、測定法によってその定量的測定値が大幅に異なることになり、国の内外においてその規格制定に関する検討が行われてきたが、最近に至って我が国においても新しい妨害波測定器の規格が定められた。

本学電子工学科においても、電子機器のめざましい発達に伴って予想される電磁障害の調査研究をすすめるため、いち早く新しい電気電子工学科棟建設の昭和47年に

電磁遮蔽室等の設置を計画していた。今回私大研究設備補助を受け電磁障害測定装置として、長波帯から極超短波帯までの、新しい規格による妨害波測定器と電磁遮蔽室を設置したので、電磁環境に関する内外の情勢について述べると共に、本装置の概要と性能試験結果を報告する。

2. 電磁障害と電磁環境

古くから無線通信に対する妨害として扱われてきた電波雑音(Radio Noise)、あるいは電波妨害(Radio Frequency Interference)は妨害源の範囲が拡大するに伴って、電磁障害(Electro magnetic Interference,EMI)と呼ばれるようになった。さらに電磁エネルギーが多種多様な形で用いられ、それに付随して不要電磁波は空間を汚染することとなった状況のもとで、有限な周波数を有効に利用し、それぞれの分野でそれぞれのシステムが協調し調和のとれた利用をすすめるため、電磁環境(Electromagnetic compatibility, EMC)という概念が生まれた¹⁾²⁾。

すなわち空間に不要電磁エネルギーが存在するとラジオ・テレビの聴視を妨げるのみでなく、例えば新幹線をはじめとする各種交通機関の通信・信号を妨害してその運行を誤らせ、工場等の自動制御装置あるいはコンピュ

ーターの動作を不能としたり、また人工衛星の通信・制御を困難とするなど社会に重大な影響を及ぼすことになる³⁾。さらに大きな電力の電磁界発生装置の利用によって生体への影響⁴⁾またペースメーカーなどの人工臓器の動作を誤らせる可能性も考えねばならないだろう。

このことはとくに我が国の場合、特定地域への人口の集中などの地理的条件、社会活動、産業活動の発展と関連して一層の重要性をもつものと考えられる。

しかし1つの目的をもって使用される電磁波も、他の目的に対しては妨害・障害となり得る訳である。一般には空間に電磁波を発生する限りこの妨害を皆無とすることは困難であり、妨害を与える側にはその防止ないし軽減対策が必要であり、妨害を受ける側には対妨害対策が必要となる。これは空気、水などの汚染に対する公害対策とも対比され、また人間と他の動植物との共存とも対比される。

EMCはIEC(国際電気標準会議)の定義によると、「希望信号に含まれる情報を損うことなく電磁気信号および電磁気障害が共存しうること」とされている。我が国では一般に電磁環境と言われ、学問分野としては後述のように環境電磁工学と呼ばれ、単に電気関係分野のみならず理工学全般から人文・社会学方面にまで関係をもつものである。またEMIは「不要な電磁気信号または電磁気雑音によって希望する信号の受信が損われること」と定義され電磁障害と訳されている。

3. EMCに関する海外の動向

EMCの概念はまだ新しく現在発展過程にあるので内外の動向について調べてみると、まず第1にCISPR(Comité International Spécial des Purterbations Radioélectriques, 国際無線障害特別委員会)があげられる。CISPRはIECの特別委員会として1934年に設立され「放送を妨害から保護し、かつ国際貿易を促進するため、電気機器からの電波雑音について測定器、測定法および許容限度を定め、国際協力を行う」ことを目的としている。しかし、人工電波雑音の著しい増加と、ITU(国際電気通信連合)の専門機関であるCCIR(国際無線通信諮問委員会)からの緊密な協力要請などのため、放送のみならず一般無線業務についても包含するようになり、現在6つの小委員会を設け活発に活動している⁵⁾。

さらにCCIR以外に電波妨害に関連をもつEBU(欧州放送連盟)、OIRT(国際放送機構)、UNIPED(欧州放送電業者連合)、CIGRE(国際電力技術会議)、UIC(国際鉄道連合)、UITP(国際公共輸送連合)、CEE(欧州電気機器統一安全規格委員会)などと緊密な相互協力を行っている。

一方学会としてはIEEE(米国電気電子学会)が1958年にRFIの専門グループを設け電波障害に関する研究を進めていたが、研究範囲が拡大し妨害源の特性、測定に関する研究のみでなく、電子機器の感受性(susceptibility)⁶⁾、排除性(immunity)⁷⁾、両立性(compatibility)⁸⁾、さらに周波数有効利用から人間の役割を含むシステムの研究分野まで含めて、1964年に専門グループ名をEMCと改め今日に至っている。

またURSI(国際電波科学連合)は電波科学の面から電波雑音についても研究を進めているが、電波雑音分科を1976年に電波環境障害(Electromagnetic Interference Enviroment)分科に改組し研究範囲を拡大させている。勿論CISPR等においては国際機関としてありがちな各国の事情により一致をみない点、および将来の研究課題として未決定の問題も少なくない。

4. EMCに関する我が国の状況

前述のような海外の動きに対し、我が国においてもCISPRに対応して昭和27年に電波技術審議会(Japan Radio Technical Council)が設置されて、電波雑音に関する国内規格等が審議され答申が行われてきており、URSIに対しては学会協議の電波科学研究連絡委員会がある。

学会活動としては従来個々別々に行われていたこの種の研究がまとめられて、昭和52年に電子通信学会・電気学会に環境電磁工学(EMC)研究専門委員会が設立された。その定義および分野としては「電磁エネルギー利用の発達に伴い変化してきた地球および天体の電磁氣的周囲環境の調和と予測、さらに調和のとれた環境とするための制御方法、電気装置のあり方を追求し、電磁環境の調和と電磁エネルギーの有効利用に資する工学、理学、医学、経済学、社会学等多方面にわたる学際的研究の基礎学問分野」とされている⁹⁾。このEMC研究会においては広い方面からの研究報告がなされ、IEEEのEMC Societyにおいても当研究会の活動に多大の注目と関心が寄せられている。

一方行政面からみたとときこのような電磁妨害の測定器、測定法等を示しているCISPR規格あるいはJRTC規格とも国内では法的な強制力はない。すなわち規制はあくまで法律によらねばならないが、まだすべてが法令にとり入れられていない段階である。しかしこれらの答申および勧告は尊重されねばならず、とくにCISPR規格あるいは同様な国内規格を定めている国へ機器を輸出する場合は、これらの規格に適合するか否かは輸出の可否にかかわってくる。

わが国における関連法令としては妨害発生源の規制は

電波法、電気用品取締法、電気事業法があり、受信側の保護については電波法、自動車雑音の規制は道路運送車輛法、また規制力はないが実効上の効果が期待できるものとして工業標準化法がある。最近我が国の郵政省に相当する米国 FCC（連邦通信委員会）が「計算機および類似のデジタル電子装置」に対する新しい規則案（1980年6月、一般文書番号80-284）を告示したことから、コンピュータの発達の著しい我が国においても、EMI測定は新しい局面を迎えることになると考えられる。

5. 妨害波測定器の規格

無線通信をはじめとする各種電子機器に妨害を与える人工雑音の測定を行う場合、雑音はその性質が複雑なため妨害の程度と雑音の測定値とを関連づけて評価しなければならない。一般に雑音はその振幅、繰り返し周波数等が不規則に変動するため、使用する測定器の特性により測定値が大幅に変動する恐れがあり、そのため規格を設けて測定器の特性が定められている。このような測定器は一時期は雑音電界強度測定器と呼ばれていたが現在では妨害波測定器に統一されている。

妨害波測定器に関しては上述のように国際規格としての CISPR のほかに我が国には JRTC があり、米国 ANSI、西独 VDE、また各国にもそれぞれの規格があるが、IEC の特別委員会としての CISPR の規格に統一さ

れる傾向にある。わが国においても昭和30年に制定された旧 JRTC 規格が昭和48～51年に CISPR 規格に準拠したものに改定されている。

CISPR 規格は通信や放送の受信妨害に対する主観的な評価と、測定器の測定値が関連づけられるように測定器の特性を定め、とくにインパルス性雑音による妨害は、その振幅のみならず繰り返し周波数によっても大きく異なるので、その双方によって評価するため準尖頭値指示方式をとっている。これは要するに複雑多岐にわたる妨害雑音の測定を、測定器と測定法を規格化することによって普遍性をもたせたということである。

CISPR Publication と JRTC 規格を対応させて妨害波測定器の規格の詳細を表1に示す。以上のような国際規格、国内規格のほかに軍用の特別規格として MIL-STD（米軍規格）は有名であり、我が国にも防衛庁規格（NDS）がある。

6. 電磁障害測定装置の性能

今回設置した電磁障害測定装置は周波数150KHz から 1,000MHz にわたり長中短波帯、超短波帯および極超短波帯妨害波測定器とその付属品、ならびに外部電磁界を遮断して測定を実施するための電磁遮蔽室(shield room)からなっている。これらは本学電気・電子工学科棟 5階に設置してあり、とくにこの部屋の照明は雑音を発

表1 妨害波測定器の規格 (CISPR Pub. 1～4)

CISPR Publ.No.		3	1	2	4	
基本特性	周波数帯	10～150kHz	0.15～30MHz	25～300MHz	0.3～1GHz	
	帯域幅 (6dB低下)	200Hz	9kHz	120kHz		
	検波器	充電時定数	45ms	1ms	1ms	
		放電時定数	300ms	160ms	550ms	
	指示計の機械的時定数	160ms	160ms	100ms		
	過負荷係数	検波器以前	24dB	30dB	43.5dB	
検波器以後		6dB	12dB	6dB		
応答特性	繰り返し周波数に対する応答の変化	25Hz, 13.5μVs のパルスと 2mV の正弦波に対する指示が同一 許容値 ±1.5dB	100Hz, 0.316μVs のパルスと 2mV の正弦波に対する指示が同一 許容値 ±1.5dB	100Hz, 0.044μVs のパルスと 2mV の正弦波に対する指示が同一 許容値 ±1.5dB		
		振幅特性 詳細は Publ. 参照				
選択度	総合選択度	詳細は Publ. 参照				
	中間周波妨害比	> 40dB				
	映像妨害比	> 40dB				
	スプリアス	> 40dB				
相互変調効果の制限		詳細は Publ. 参照				
内部雑音の制限		指示誤差 1dB				
しやへい		10mA/m の磁界中で指示振れなし	> 60dB			
精度	電圧測定	±2dB				
	電界強度測定	±3dB				
受信アンテナ		磁界用：平衡わく形	磁界用：平衡わく形 電界用：平衡形または不平衡形	半波長ダイポール (80MHz以下は80MHzの長さに固定)		
J R T C と の 関 連		昭和50年度答申	昭和48年度答申	昭和49年度答申	昭和49年度答申	

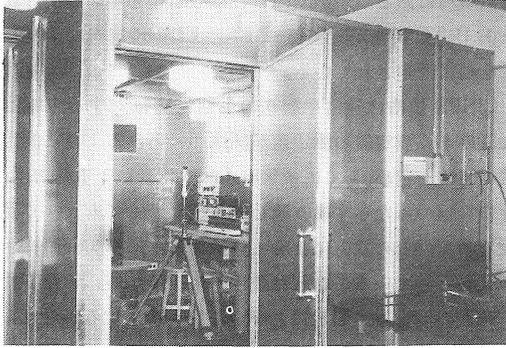


写真1 電磁障害測定室の外観

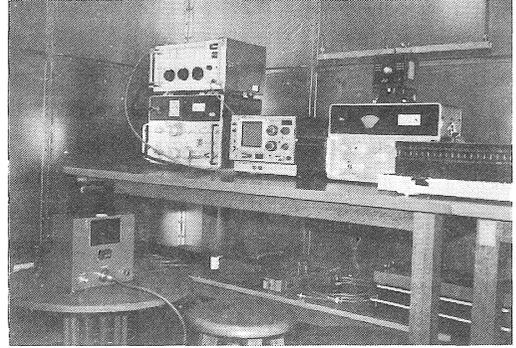


写真2 各妨害波測定器の外観

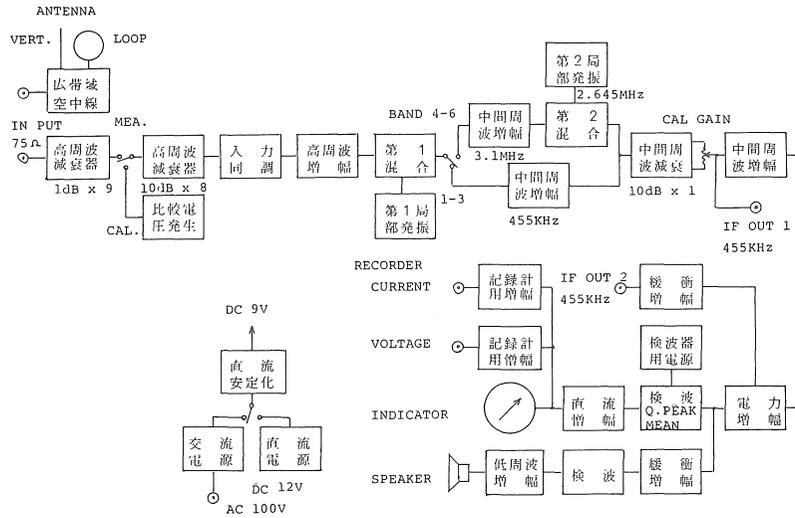


図1 長中短波帯妨害波測定器(CISPR Pub. 1)の構成

生する蛍光灯をさけすべて白熱電灯とし、安全その他の面から第三種接地工事が施されている。写真1および2に測定室および各測定器の外観を示す。

6.1 長中短波帯妨害波測定器

この測定器は周波数範囲0.15~30MHzであって、

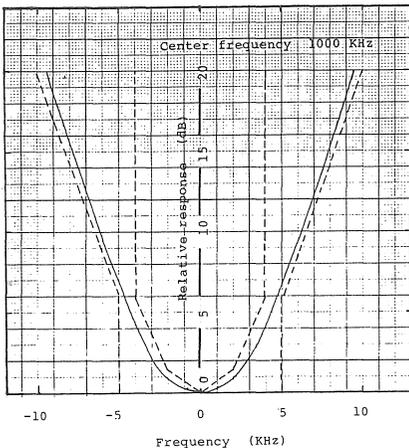


図2 総合選択度特性 (CISPR Pub. 1)

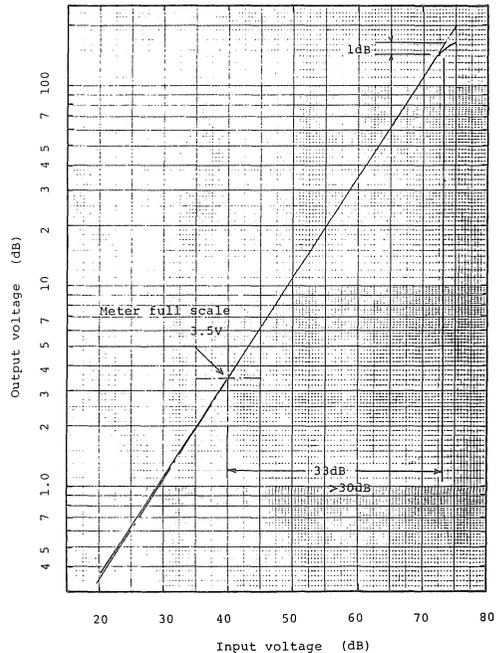


図3 検波器より前の段の過負荷係数(CISPR Pub. 1)

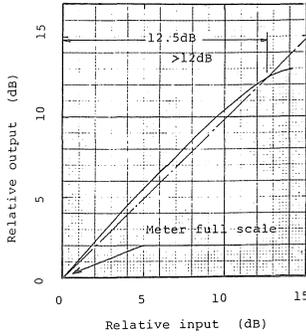


図4 検波器と指示計との間に挿入する直流増幅器の過負荷係数 (CISPR Pub. 1 and 2)

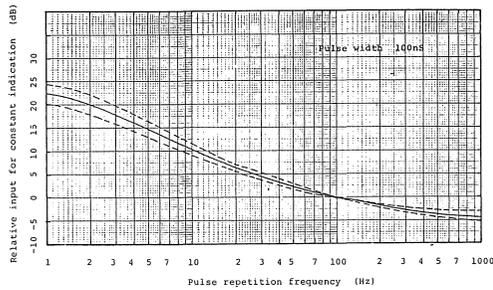


図5 パルス応答特性 (CISPR Pub. 1)

CISPR Pub.1 および昭和48年度 JRTC に適合する性能をもつものである¹⁰⁾¹¹⁾。一般に妨害波測定器は電界強度測定器と同じ構成であるが¹²⁾、雑音を主たる測定対象とするため帯域幅、検波器の充放電時定数、指示計の機械的時定数、過負荷係数およびパルス応答特性などが規定されており、その規格の詳細は表1に示したとおりである。したがって指示計はこの検波器および指示計の時定数によってきまる準尖頭値を示すが、本測定器はこの時定数を切り換えることにより平均値指示ともなり、一般の電界強度測定器および高周波選択電圧計としても使用可能である。

この測定器の構成は図1に示すように利得調整のための減衰器を内蔵した一重および二重スーパーヘテロダイク方式の高感度受信機と、その利得を校正するための比較電圧発生器からなっている。

本測定器の各性能すなわち総合選択度特性、過負荷係数およびパルス応答特性の試験結果をそれぞれ図2～図5に示す。それらは表1の規格をすべて満足しており良好な特性を示している。

実際に妨害波の放射電磁界を測定する場合は空中線が必要であり、図6は付属の垂直(長さ1 m, 2 m)、および棒形空中線の係数 K_v および K_l を示したものである。これらはすべて dB 値で表わされているので測定電

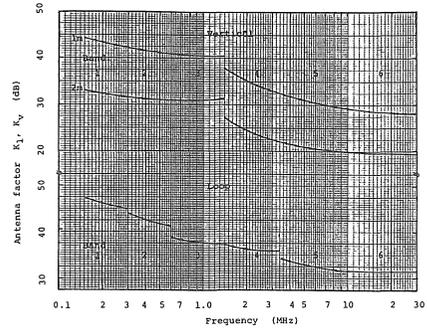


図6 垂直および平衡棒形空中線係数 (CISPR Pub. 1)

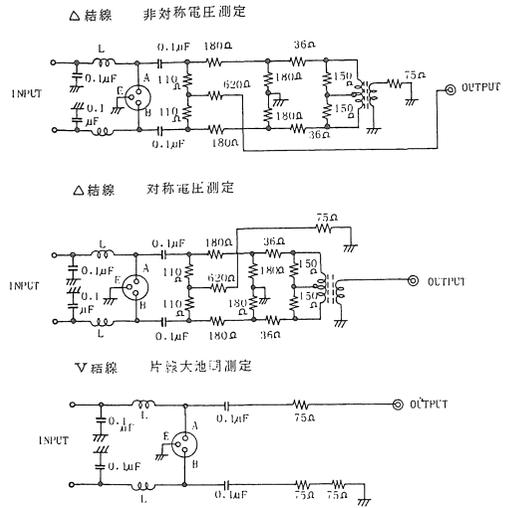


図7 擬似電源回路網 (CISPR Pub. 1)

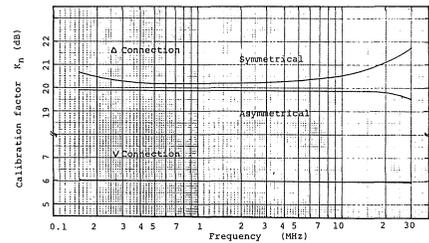


図8 擬似電源回路網の係数 (CISPR Pub. 1)

磁界強度($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)は、測定器の減衰器および指示計の値とこの空中線係数の和として示される。また妨害発生源となる機器から電源線を通して誘導される妨害波は、図7に示す擬似電源回路網を通して測定器に加える。したがって測定値に図8に示すこの回路網の係数 K_n を加えたものが、電源側に漏洩する伝導妨害波の端子電圧($\text{dB}\mu\text{V}$)となる。

6.2 超短波帯妨害波測定器

この測定器は周波数範囲25～500MHzであって CISPR Pub.2 より若干広く、一部 CISPR Pub.4 に相当

実際にはこのクランプを移動させると半波長毎に出力電圧は最大値を示すので、図15では第1、第2の山に相当する係数を示している。妨害波電力値(dBpW)は測定値(dBμV)と、係数Kc(dB)の和として示される。この方法はCISPRで家電機器等について使用することを勧告¹⁵⁾しており、我が国においても昭和53年度に答申されている。

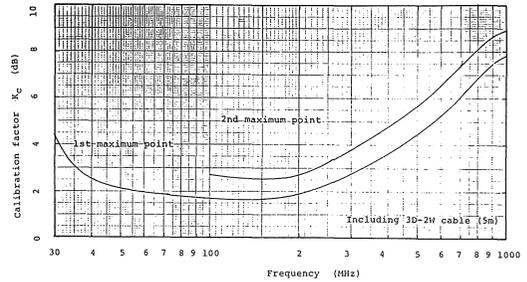


図15 電力吸収クランプの係数 (CISPR 1967)

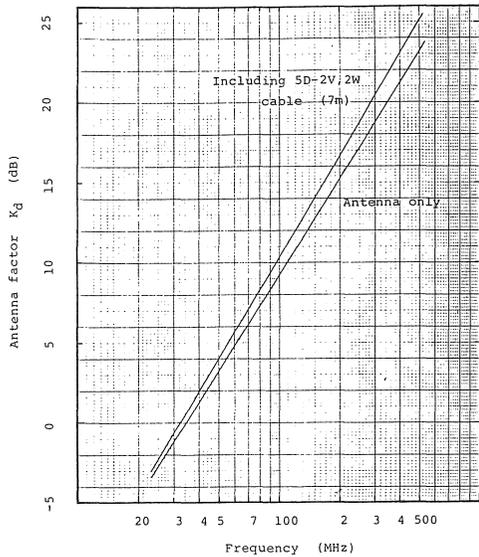


図13 半波長ダイポール空中線係数 (CISPR Pub. 2)

6.3 極超短波帯妨害測定器

周波数0.3~1 GHzの妨害波測定器の規格は表1のCISPR Pub.4に示すように、CISPR Pub.2の25~300 MHz帯と全く同様^{16) 17)}であるので、本測定器は図9の超短波帯妨害波測定器と、図16に示す周波数変換器を組み合わせて構成するようになっている。すなわち0.3~1 GHz帯はこの周波数変換器によって90MHzをつくり、これを超短波帯妨害波測定器によって測定する。

したがって主要性能は超短波帯測定器によってきまることになる。ただし半波長ダイポール空中線の係数は図17に示す。また極超短波帯と超短波帯を組み合わせて使用するので両方の誤差が加わることになり図18に示す総合補正係数を用いて補正すればよいが、補正なくとも精度が±2 dBになっていることがわかる。

以上長波帯から極超短波帯まで3台の妨害波測定器の主要性能の試験結果を示したが、上記以外の中間周波妨害比、映像妨害比その他の性能も、規格に対し数dBの余裕をもって満足していることが確認されている。また図1および図9に示した比較電圧発生器の構成はすべて図16に示したようになっており、筆者の開発実用化した水

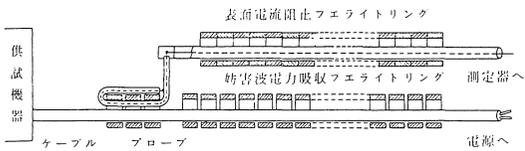


図14 電力吸収クランプ (CISPR 1967)

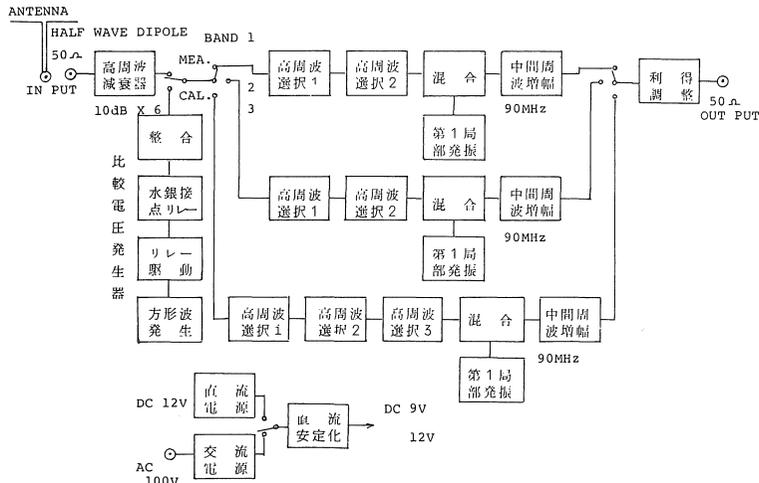


図16 極超短波帯妨害測定器用周波数変換器 (CISPR Pub. 4) の構成

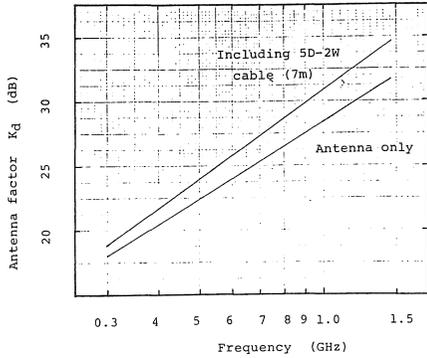


図17 半波長ダイポール空中線係数 (CISPR Pub. 4)

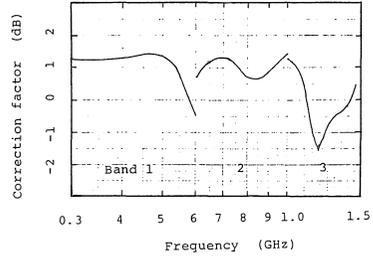


図18 極超短波帯妨害波測定器の総合補正係数 (CISPR Pub. 4)

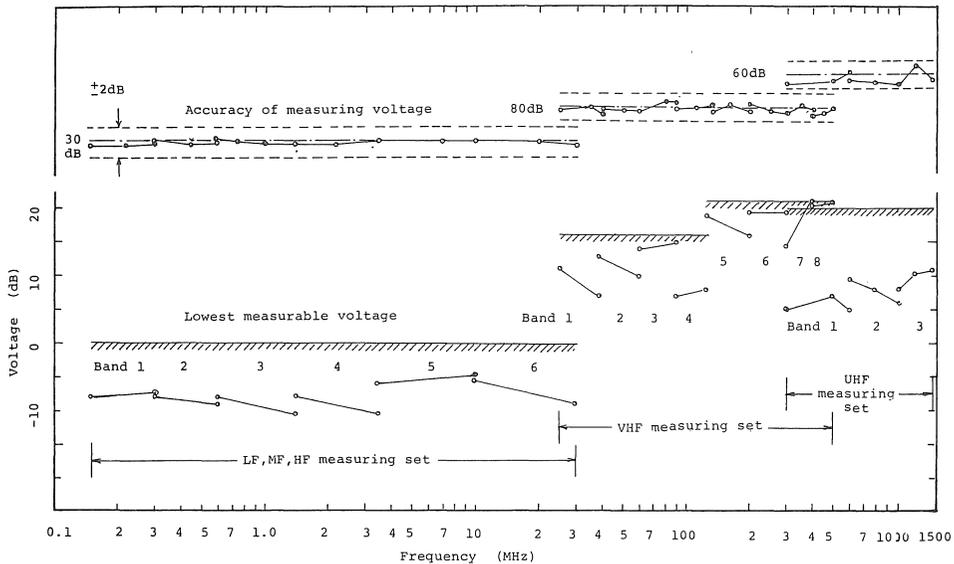


図19 妨害波測定器の全周波数帯にわたる測定確度および感度試験結果

銀接点リレーと伝送線路によるインパルス発生器を使用している¹⁸⁾。周波数150KHz～1 GHzにわたる全周波数帯の測定確度および最低測定可能電圧試験結果は図19に示すとおりである。測定誤差は±2 dB以内であり、S/N = 6 dBとして求めた感度は仕様を充分満足している。

6.4 電磁遮蔽室

電気・電子機器から発生する妨害雑音を測定するには、電磁的に外部の影響を遮断するため電磁遮蔽室が必要となる。低レベルにおける電子機器の試験や測定器の校正などには、本質的には電波無響室とも呼ばれる電波暗室が必要である。しかし吸収壁の材料・寸法¹⁹⁾から考えたとき、技術的にも経済的にも50MHz以下では実用上実現することは困難であるので、本電磁障害測定装置としては受動的遮蔽室と言われる一般の電磁遮蔽室とした。この場合であっても室内の機器から発生する電磁波が余り

大きくなければ、そのまま壁面で反射されるのではなく一部が吸収され残りが反射されることになるので、多少の電波無響室効果が期待できる。

壁面材料としては古くから銅網が使用されていたが、これは経年劣化が大きくまた壁面の反射損も銅より鉄の方が大きいので、遮蔽効果および無響効果、さらに経済的見地から亜鉛引鉄板を使用し二重遮蔽構造とした。その外観・構造を写真1および図20に示す。

電磁遮蔽室の電磁気的特性としての遮蔽効果と、電源から侵入する外部妨害を除去するための電源フィルターの特性を図21に示す。遮蔽効果については工場試験と現場試験の結果を示したが、現場では場所および使用測定器の関係から工場試験結果より20dB程度下廻っている。これは実際には測定器の測定限界を示すもので、矢印で示したようにこの値以上と表現でき、遮蔽効果は100 dB以上は満足しているものと推定できる。電源フィル

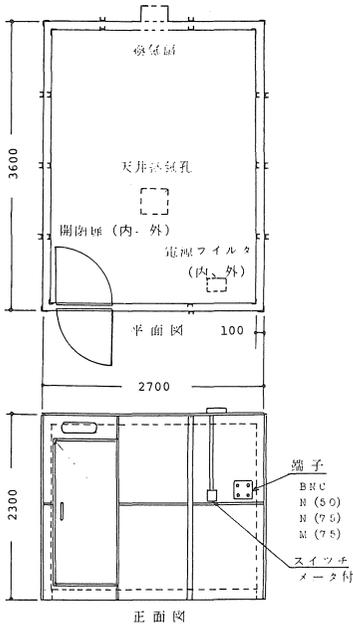


図20 電磁遮蔽室の構造

ターについても実際にはこのフィルターを遮蔽室の内外に2個設置したので、この値より少く共数10dB程度は良好と推定できる。

またこの遮蔽室は鉄筋コンクリートの建物内に設置してあるので、鉄筋コンクリートの遮蔽効果が加わることになる。鉄筋コンクリートの遮蔽効果はとくに試験しなかったが、Mir, White, Smithの結果²⁰⁾から推定すると、最も少ない50MHz付近でも20dB程度は考えられるので、結論として本遮蔽室の遮蔽効果は120dB程度、すなわち電磁的には外界の影響を10万分の1程度に遮断しているものと推定できる。

7. おわりに

電磁エネルギーの利用は日を追って増加の一途を辿り、決して減少することはあり得ない。古くはラジオに対する電波雑音として扱われてきたEMIは、エレクトロニクスの発達によって妨害を与える側も受ける側も急速に増加し、EMCは社会に強く影響を与える傾向をもってきている。これは大気・水質の汚染などのいわゆる公害と対比され、電磁波公害とも言われるゆえんである。

EMCは与える側の妨害除去対策と受ける側の妨害排除能力と両方の問題があり、将来を含めて正しい調和のとれた電磁環境を作っていくためには、まず第1に電磁妨害の原因と定量的把握によって対策を実施して行かねばならない。

本稿では最初に学会などでとかく判り難いと言う声

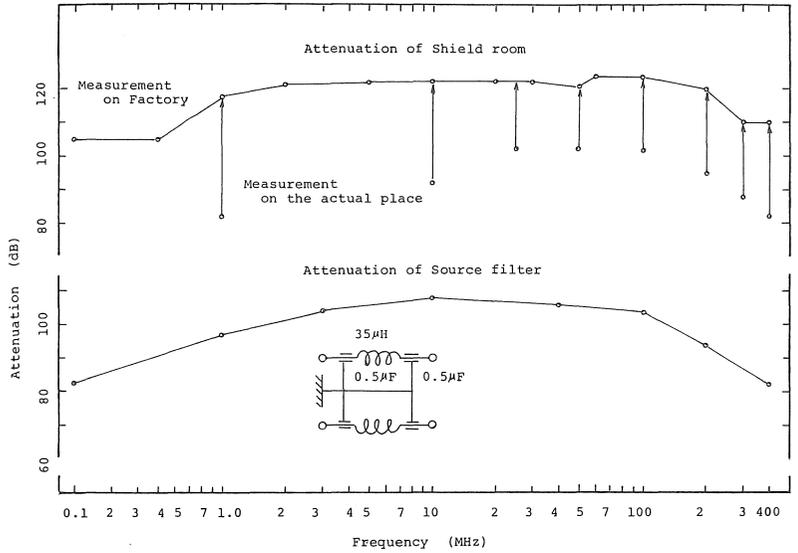


図21 電磁遮蔽室および電源フィルタの減衰効果試験結果

のあるEMCの概念をはっきりさせるため、その歴史的背景、内外の動向およびEMI測定に重要な意味をもつ規格について述べた。続いて本学に設置した妨害波測定器が今回の詳細な調査によって、国際規格としてのCISPR、および国内規格としてのJRTCに充分適合することを確認した。またEMCに関する試験・研究を実施するためのシールドルームも良好な性能であることが判明した。

元来電磁妨害は多数の原因が複雑な因果関係の結果として生ずる場合が多く、本装置によって電磁妨害の原因と対策がすべて解決できるような性質のものではない。しかし大学はメーカーやユーザーと異なり、利害関係を離れたニュートラルな立場で調査検討できるので、今後この装置を有効に利用してデータの集積と研究を進めて行きたい。

終りに本装置は昭和54年度私立大学研究設備整備費等補助金(文学助第11号昭和54年12月25日)を受けて設置したもので、尽力された後藤学長はじめ関係各位に深謝する次第である。

参考文献

- 1) 佐藤・越後：環境電磁(波)工学—EMC—の現状と問題点, 信学誌, 59(8), 829—835, 1976.
- 2) 佐藤・越後：環境電磁工学の現状と展望, 電学誌, 99(1)11—18, 1979.
- 3) 末武・清水：人工雑音と社会システム, 昭50電気四学会連大, 945—948, 1975.

- 4) 齊藤・山浦：電磁界と生体, 医用電子と生体工学, 12(6), 1—9, 1974.
- 5) 伊藤：人工雑音の規制の現状と動向, 電子計測, 12, 2—9, 1975.
- 6) Crawford M.L.; Techniques for measurement of electromagnetic radiation and susceptibility of electronic equipment. Symp. Tech. Exhib. Electromagn. Compat. Ist. 38—44, 1977.
- 7) Fower E.P; Instrument system with high interference immunity. Symp. Tech. Exhib. Electromagn. Compat. Ist. 301—306, 1977.
- 8) Jenson E.V; Compatibility reliability and adaptivity. Symp. Tech. Exhib. Electromagn. Compat. Ist. 317—322, 1977.
- 9) 佐藤：環境電磁工学研究会発足までの経過, 信学技報, EMCJ 77—1, 1—4, 1977—5.
- 10) CISPR Pub. 1; Specification for CISPR radio interference measuring apparatus for the frequency range 0.15MHz to 30MHz. IEC. Geneva, 1972.
- 11) 昭和48年度, 電波技術審議会答申, 第3編：妨害波測定器規格 (0.15MHz~30MHz)
- 12) 吉田：電界強度 (妨害波, スプリアスを含む) 測定器の諸問題と動向, 信学技報, EMCJ 80—71, 13—18, 1980—11.
- 13) CISPR Pub.2: Specification for CISPR radio interference measuring apparatus for the frequency range 25MHz to 300MHz, IEC, Geneva. 1961.
- 14) 昭和49年度, 電波技術審議会答申, 第3編：妨害波測定器規格 (25MHz~300MHz)
- 15) CISPR Pub. 14 : Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of household electrical appliances, portable tools and similar electrical apparatus, IEC, Geneva, 1975.
- 16) CISPR Pub4 : Specification of CISPR radio interference measuring apparatus for the frequency range 300MHz to 1,000MHz, IEC. Geneva, 1967.
- 17) 昭和49年度, 電波技術審議会答申, 第3編：妨害波測定器規格 (300MHz~1,000MHz)
- 18) 吉田：UHF パルス発生器の試作とその妨害波測定器への応用, 愛工大研報, 3, 51—62, 1967.
- 19) 清水・末武・内藤・若山：誘電体層および磁性体層を組合せた電波吸収壁, 信学論(B), 53—B, 7, 381. 1970.
- 20) Smith A.A : Attenuation of electric and magnetic fields by buildings, IEEE Trans. Electromagn. Compat. EMC—20(3), 411—418, 1978—8.

(受理 昭和56年1月16日)