

## 第1章 モデル教材の開発の背景



## 第 1 章 モデル教材開発の背景

EMC(Electric Magnetic Compatibility)技術とノイズ対策コースのモデル教材開発にあたって、これまでに各地で実施されているセミナーや講習会を調査し、その一例を以下に示す。また、今回地域の取り組みとして直轄産業振興センターを訪問し、そこでの活動を調査したので紹介する。

また、これまでの本校の実施事例として、高度職業能力開発促進センター及び東北職業能力開発総合大学校での状況を報告する。

### 第 1 節 市場調査

#### 1 . 企業セミナーの実施状況

以下インターネット上で調査した、企業セミナー例を示す。

##### (1) UL Apex 社

PS(製品安全)エンジニアトレーニングコース 「K-5 EMC・無線規制と測定方法」		
開催日時	: 2004 年 12 月 2 日(木) 13:00~17:00	
会 場	: ユーエル エーペックス 横浜事業所	
講 師	: 株式会社ユーエル エーペックス EMC業務部 橋本 哲哉	
<b>セミナー概要</b>		
主要国の EMC 規制について 主要国の無線規制について 機関からよくある指摘事項 測定方法/技術に起因する課題 質疑応答		
<b>受講者アンケートより</b>		
定期的に開催して欲しい。大変役に立った。 内容が豊富でテキストも充実しており、セミナー後でも参照できるのが嬉しい。 事前に質問事項を受け付け、当日回答してもらシステムだったが、不明な点が明確になりよかった。 指令や規格等で明確でない内容の説明があり、わかりやすかった。 機関からの指摘事項をテキストに載せていることは有用だった。		



出典：http://www.ulapex.jp/seminar/120204\_emckekka.html

(2) エレクトロニクス実装学会

2003 サマーセミナー

「高速差動伝送と E M C 実装評価」開催のご案内

期 日：2003 年 8 月 29 日（金） 9:50～19:00（受付開始 9:00～）

会 場：国立オリンピック記念青少年総合センター

**センター棟 4 階 セミナーホール(417号室)**

(東京都渋谷区・小田急線「参宮橋」駅下車 徒歩7分)

会場案内図 <http://www.nyc.go.jp/users/d7.html>

電磁特性技術委員会では、『高速差動伝送』と、『E M C 実装評価』問題を取り上げ、サマーセミナーを開催致します。日頃、半導体パッケージ、高周波モジュール、部品、電子機器から、E M C に関連する設計・解析・評価・対策に携わっている技術者の積極的なご参加を頂くようご案内申し上げます。

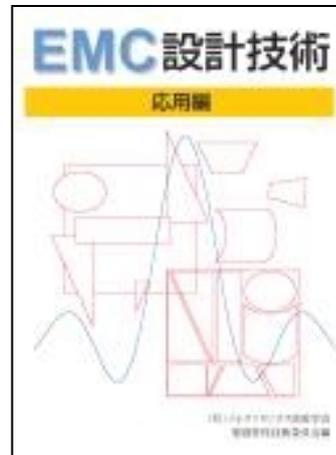
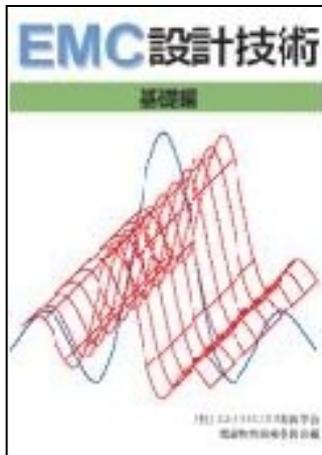
プログラム	
09:00 ～	受付開始
09:50 ～ 10:00	<b>イントロダクション</b> 櫻井 秋久 (日本 I B M)
10:00 ～ 10:40	<b>高速差動伝送の動向&lt;シリアル伝送とパラレル伝送&gt;</b> 井上 博文 (日本電気) シリアル伝送よりパラレル伝送の方がデータ速度が速いはずなのに、近年、どうして差動信号のシリアル伝送が注目されているのか.急速にニーズが高まっている高速シリアル伝送について、過去から今日に至る製品の流れとその技術的な背景について解説する.
10:40 ～	<b>高速伝送を支える基板材料</b> 富永 弘幸 (松下電工)

11:20	Gbps 伝送向け基板材料の概要紹介を中心に、伝送向け基板材料とその電気的特性、評価結果、また、高速デバイスの使用時の電源層への対応も基板材料の観点から、電気的特性や評価、解析結果も交えて紹介する。
11:20 ~ 11:30	休憩
11:30 ~ 12:10	<b>高速差動伝送信号のアイ・パターン、ジッタ測定法</b> 田村 昌信（レクロイ・ジャパン） 高速シリアル差動伝送信号の新しいアイパターン評価方法を紹介する。サンプリングオシロスコープによる方法と比べて、ジッタの少ないきれいなアイパターン表示が可能。ISI（符号間干渉）によるジッタの測定、 $R_j$ 、 $D_j$ の分離手法など新しいジッタ評価方法も解説する。
12:10 ~ 12:50	<b>アイパターンの実例</b> 山岸 圭太郎（三菱電機） 実際に伝送されるアイパターンについて、Via/配線長/クロストークノイズ/伝送レートの影響、プリエンファシス/イコライザの効果等、実例を紹介する。
12:50 ~ 13:50	昼食（昼休み中に、測定装置の実機プレゼンテーションが行われます。）
13:50 ~ 14:30	<b>雑音発生源特定のための近傍磁界測定</b> 須賀 卓（日立製作所） 素子の高速化に伴う電磁雑音増加、製品開発サイクル短縮に対応すべく、雑音源を特定し対策期間を短くする測定技術が必須となっている。近傍界と遠方界の関係を中心に解説し、雑音発生源を特定する測定技術について紹介する。
14:30 ~ 15:10	<b>電子機器の近傍電磁界測定装置</b> 風間 智（太陽誘電） 電子機器の近傍の電界と磁界を同時に位相情報も含め測定できる測定装置とその測定装置で測定された電子機器の近傍電磁界分布の測定例について述べる。
15:10 ~ 15:30	休憩
15:30 ~ 16:10	<b>L S I の E M C 特性評価とモデル化</b> 和田 修己（岡山大学） デジタル機器のノイズ低減には、従来のボードレベルの実装・対策のみでは対応が困難になり、デバイス自体の E M C 設計が要求される。そのためのデバイスの E M C 特性評価法と E M C シミュレーションモデルの動向について紹介する。
16:10 ~ 16:50	<b>イミュニティ性能向上の基礎と具体例</b> 久保寺 忠（日本フェンオール） 機器のイミュニティ設計について、基本的な対応策を実験によって再検証する。
16:50 ~ 17:20	<b>まとめ及び Q &amp; A</b> 中村 篤（ルネサス） 今回の講演を総括し、まとめの質疑討論を行う。
17:30 ~ 19:00	技術交流会

出典：<http://www.jiep.or.jp/iinkai/denjiin/03emcseminar.html>

本学会は、毎年 EMC 関連のセミナーをサマーセミナーとして実施している。

(社)エレクトロニクス実装学会 電磁特性技術委員会より下記のような書籍が発行されている。



### (3)ミマツ社

第10回 どうなる日本の電磁環境と行政 EMC規制と適合性評価

開催日 2004年7月8日・9日

#### 講義内容

##### 総合セッション

どうなる日本の電磁環境と行政

EMC規制と適合性評価

##### 技術セッション

本当に役に立つ EMC 初級講座

EMCの基礎

シミュレーションを用いた設計法

EMC設計・対策法

EMCの測定・試験法

次世代のワイヤレス技術と EMC

無線通信システムの動向

無線 LAN と EMC

小型無線機器の電波干渉特性試験法

UWB 無線システムと EMC

EMC の基盤をなす両立性レベル及び半導体とマルチメディア機器の EMC 規格

半導体の EMC 測定規格の動向と活用方法

低周波 EMC 規格の両立性レベルの考え方と取り組み

マルチメディア機器に関する CISPR 規格作成の進展

ユビキタスコンピューティングにおける

イントラシステム EMC への対応 - 『自家中毒』と EMC 設計 -

ユビキタスコンピューティングシステムにおける EMC 的相互作用

イントラシステム EMC の近傍電界、磁界、電磁界

ユビキタス社会に求められる機器の EMI 対策設計・EMI 対策部品

特許戦術と EMC (知って得する特許情報)

暮らしを支える電気が届く

電灯線通信における EMC

家電製品から発せられる電磁波(低周波磁界)測定調査

電力系統の保護・制御システムのサージ対策

瞬時電圧低下の影響と対策

次世代道路交通システムの EMC 設計

これで解る電波吸収体設計とその評価

車載電子機器の EMC 対応設計

電波吸収道路～道路で電波を吸収する～

癒し系、介護系、産業用ロボットと EMC

FA における EMC

家庭用ロボット“ AIBO ”技術紹介とその EMC 課題

日常活動型ロボットに必要なノイズ処理

車載用電気電子部品と組み立て部品の EMC

自動車におけるイミュニティ測定法に関する研究

自動車の EMC 規格について

自動車の EMC 対策について

IMTS 用制御コンピュータの EMC 評価

EMC 計測徹底理解！ 基礎から実践まで

EMC における近傍界と遠方界

電波可視化のためのプロービング技術

EMC の時間領域計測と周波数領域計測

EMC 測定における計測機器とノウハウ

最新の有線通信システムと EMC

ブロードバンド通信の EMC と ITU-T の EMC 標準化動向

CATV 機器と EMC 対策

IP 電話と EMC

電力線通信と EMC

新薬事法と医療機器 EMC の対応

新薬事法と医療機器 EMC

新 EMC 規格への企業サイドの対応と取り組み方

病院における電源設備ならびに電磁環境対策

生体電磁環境に関わる研究、標準化等の最新動向

生体電磁環境問題の現状と課題

WHO 国際電磁界プロジェクトと健康リスク評価の動向

低周波領域における経緯と動向

SAR 標準測定法等の国際動向

電子機器における電磁遮蔽の基礎から最新材料まで

電磁遮蔽の基礎と今後の展望

簡易シールドルーム開発におけるシールド設計事例

PCB 近傍の電磁界減衰遮蔽の事例

人工媒質を用いた周波数選択性遮蔽技術

パワーエレクトロニクス機器における EMI 解析と低減技術

電力変換システムにおける電磁ノイズ抑制法

パワエレ機器の EMI 解析技術  
超低ノイズスイッチング電源システム  
スイッチング電源におけるノイズ解析と低減技術

高性能な電磁空間を実現する最新の建物 EMC  
快適な建物の磁気シールド技術と材料・施工  
快適な建物の電磁シールド技術と材料・施工  
通信に快適な建物内の電磁波干渉と電磁環境設計技術  
新 JIS「建築物等の雷保護」の改正ポイントと雷保護技術の問題点

快適なユビキタス社会と電磁波セキュリティ  
電磁波セキュリティ総論  
漏洩電磁波の脅威  
侵入電磁波の脅威

【同時開催フォーラム】 熱設計技術フォーラム  
現場にいる技術者こそシミュレーションを  
コンピュータ冷却技術の効率向上  
設計に役立つ熱解析適用事例  
放熱材料としての窒化アルミニウムの新規応用  
プリント配線板の放熱特性と熱解析モデル化方法  
電子機器設計における電磁界と発熱障害対策の干渉

【同時開催フォーラム】 熱設計技術フォーラム  
はじめての方の電子機器の熱設計と熱解析の実習セミナー

出典： <http://www.it-book.co.jp/EMC/f10.htm>

## 2. EMC 関係の教育の現状

中部エレクトロニクス振興会（以下「中部エレ振」という）は、中部地区に事業所を有する電子関連企業が、産学官の交流を促進するとともに自社の発展と電子情報産業の振興を図ることを目的として、昭和 43 年に設立した団体である。こうした趣旨のもと、中部エレ振の中には、現在、総務委員会、技術委員会、電磁環境委員会、人材対策委員会、エレクトロニクスショー委員会が組織されている。技術的な取り組みは、技術委員会と電磁環境委員会が担っている。そのうち、EMC に関する活動は、技術委員会の一部と電磁環境委員会で行っている。

電磁環境委員会では例年「EMC に関するセミナー」を実施していて、毎年、70 人前後の参加者がある。本セミナーは座学が中心であり、カリキュラムの最後で見学会を実施している。以下に、平成 14 年度及び 15 年度のテーマ及び平成 16 年度のセミナー内容の詳細を掲げる。平成 16 年度のセミナーに特徴的なこととして、NARTE の模擬試験が追加されたことが挙げられる。

中部エレ振ではこれらセミナーの他に、平成 15 年度から、EMC に関する特別講演会も実施していて、こちらにも 100 人程度の参加者がある。

## 2002・2003 年度 EMC に関するセミナー

2002 年度	2003 年度
『EMC 概論』 名古屋工業大学 名誉教授 池田 哲夫 氏	『EMC 概論』 名古屋工業大学 名誉教授 池田哲夫 氏
『dB とスミス図表』 名古屋工業大学 名誉教授 池田 哲夫 氏	『回路素子とその特性』 (株)村田製作所 デバイス事業部 EMI 商品開発部 EMI 商品開発 2 課 課長 山本 秀俊 氏
『電磁波の発生』 岐阜大学工学部電子情報工学科 教授 中村 隆 氏	『回路配線と分布定数』 名古屋工業大学工学部電気情報工学科 教授 藤原 修 氏
『電磁波の測定』 東北大学電気通信研究所 教授 杉浦 行 氏	『EMC 対応プリント基板の設計法』 (株)ハーテック 技術部 松永 茂樹 氏

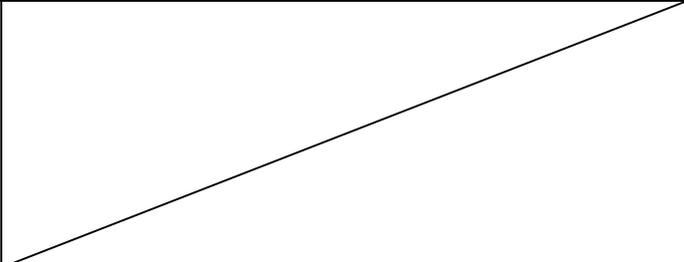
2002 年度	2003 年度
『集中定数回路と分布定数回路』 名古屋工業大学工学部 電気情報工学科 教授 藤原 修 氏	『シールドとアース技術』 日本電気（株） 生産技術研究所 EMC 技術センター 主任研究員 原田 高志 氏
『回路素子と周波数特性』 静岡大学工学部電気電子工学科 教授 窪野 隆能 氏	『静電気放電』 （株）インパルス物理研究所 インパルス応用担当 主任研究員 本田 昌 氏
『波形と周波数』 独立行政法人 通信総合研究所 横須賀無線通信研究センター 電磁環境グループ 山中 幸雄 氏	『CISPR による規制の考え方と最近の動向』 NTT アドバンステクノロジー（株） アクセスネットワーク事業本部 ワイヤレスシステム事業部 EMC センター 雨宮 不二雄 氏
『電波暗室の見学』 関西電子工業振興センター（KEC）	『見学会』 （財）飯伊地域地場産業振興センター （飯田 EMC センター電波暗室）、他

## 2004 年度 EMC に関するセミナー

時間：14:00～17:00

日程 / 演題 / 講師	講習概要
第 1 回目 4 月 21 日（水） 『 EMC 概論 』 名古屋工業大学 名誉教授 池田 哲夫 氏	EMC とは、環境電磁工学と訳されているが、電磁波と実社会の共存を図るための技術である。電気・電子機器から発生する必要/不必要な電磁波と他の電子機器が機能を十分に発揮しながら共存させる技術である。特に IC 技術の進歩は、電子機器の電磁波に対する耐性を低下させ、電子機器の誤動作の問題が大きくなっている。そこで、EMC に含まれる問題の概略を述べ、EMC に関する測定方法、EMC に関する規格の概要を述べる。 <b>キーワード</b> EMC の歴史、EMC 設計、EMC 測定評価

日程 / 演題 / 講師	講習概要
<p>第2回目 5月20日(木)</p> <p>『ノイズ波形の特徴と評価方法』</p> <p>(独)情報通信研究機構</p> <p>通信システム EMC グループ</p> <p>主任研究員 石上 忍 氏</p>	<p>電磁ノイズの発生源によって異なるノイズ波形の特徴を示し、ノイズ波形の時間領域及び周波数領域における測定・評価方法について述べる。またその際に必要となるアンテナや測定器の特性(アンテナ係数、分解能帯域幅(RBW)など)や測定器の設定(検波モードなど)についても説明する。</p> <p>キーワード ノイズ波形、アンテナ係数、 分解能帯域幅(RBW)</p>
<p>第3回目 5月25日(火)</p> <p>『EMI 測定と測定系について』</p> <p>(財)テレコムエンジニアリング センター松戸試験所</p> <p>電磁環境試験部長 市野 芳明 氏</p>	<p>放射妨害波、伝導妨害波の EMI 測定は CISPR 規格等に規定された測定法と測定装置を使用して行われる。そのための測定系は周波数帯毎に規定されているが、ここでは放射妨害波測定のための基本要件であるアンテナ、受信機、サイト不確かさについての測定結果等を含めて概要を紹介する。</p> <p>キーワード アンテナ校正、受信機、 サイトとサイト評価、不確かさ</p>
<p>第4回目 6月 9日(水)</p> <p>『イミュニティ試験の要点と合理化』</p> <p>松下電器産業(株)</p> <p>生産プロセス革新センター</p> <p>認証・評価グループ 石原 勝夫 氏</p>	<p>EMC のイミュニティ試験は、世の中にあるノイズをシミュレートするとの考えを基本としており、その技術的要点が分かりにくいのが現状である。従って、基本になるイミュニティ試験の要点を解説すると共に、試験の合理化案を説明する。</p>
<p>第5回目 6月22日(火)</p> <p>『電磁波放射の原因と対策』</p> <p>三菱電機(株) 通信機製作所</p> <p>通信プラント建設部</p> <p>技術担当部長 瀬戸 信二 氏</p>	<p>電気(電子)機器からの電磁波放射(EMI)は、その機器中の「電気(電子)的雑音発生部位」と「空中線」の存在に起因する。ここでは「発生部位と伝搬部位」における雑音発生の低減対策、「空中線となっている部位」の放射能率の低減対策と、さらに対策の具体的につき述べる。</p>
<p>第6回目 6月29日(火)</p> <p>『EMC 規格の最近の動向』</p> <p>(独)情報通信研究機構無線通信部門</p> <p>EMC 推進室室長 篠塚 隆 氏</p>	<p>近年、様々な電気・電子機器が普及したり、機器の使用周波数が高くなっていくなど電磁環境の変化が激しい。これらの状況と EMC 規格の最近の動向について報告する。</p>

日程 / 演題 / 講師	講習概要
<p data-bbox="193 219 695 248">オプション 6月30日(水)</p> <p data-bbox="193 277 695 584">『NARTE 模擬試験』  (社)関西電子工業振興センター  NARTE/Japan EMC 委員会  工藤 慎一郎 氏  名古屋工業大学  名誉教授 池田 哲夫 氏</p>	<p data-bbox="767 219 1431 801">NARTE の制度についてこの制度は、米国の無線・通信技術者協会が認定している EMC に関する技術者の認定である。米国においては、部品納入業者に対して、NARTE 資格者が従事していることを契約条件に附記している例もある。さらに、最近では自動車搭載機器の仕様書に NARTE 技術者が勤務するサイトでの測定が望ましいとの記述もある。そこで、EMC セミナーにおいても、NARTE の受験を希望している受講者に対して、同試験の概要と方式を理解していただくために、模擬試験を実施することとした。</p>
<p data-bbox="193 831 584 860">見学会 7月 2日(金)</p> <p data-bbox="181 889 722 1025">瀬戸市デジタルリサーチパークセンター  (株)デンソーEM エンジニアリングサービス  東海テレビ放送 (株)</p>	

### 3. 地域の取り組み事例 - 直鞍産業振興センター -

電子機器関連メーカーにとって、EMC(電磁的両立性)規格を満足した機器を開発・製造することは重要課題のひとつであるが、このために必要な専用施設(EMCサイト)の設置は中小の製造業にとってコストがかかることから整備することが難しい。そのため、各地に商用EMCサイトと呼ばれる試験機関が設置されている。商用EMCサイトは民間企業が運営するものと公的機関(国・県等)が運営するものがあり、測定試験を請け負ったり、利用企業に試験場の提供と機器の貸し出しを行いその利用料金で運営している。

EMCサイトの中には、製造業者のEMC技術高度化に資する目的で、EMC担当技術者向けの各種講習会等を開催しているところもある。

#### (1) 直鞍産業振興センターADOX福岡

「北九州地域基盤的技術産業集積活性化計画」に基づき、直方市が設置した施設である。経済産業省50%、直方市50%で整備された産業振興施設であり、九州地区の公的EMCサイトでは唯一、10m法対応大型電波暗室を持つ国際規格対応サイトを整備している。主として北部九州地域の中小電子関連企業のEMC対策に貢献する施設である。



(所在地：福岡県直方市大字植木1245-2

平成16年4月より(財)直鞍情報・産業振興協会により運営)

#### (2) センターの事業内容

北九州には古くからの石炭産業に端を発した鋳造・鍛造・製缶等の機械金属産業や近年発展するIC関連産業まで幅広い産業集積がある。センターはこれら様々な産業を支援するため研究開発や人材育成事業等の産業支援事業を実施している。

#### 事業内容

1. 電波暗室の開放利用および計測補助
2. 計測・試験の受託業務
3. 証明書発行業務
4. EMC 関連技術、その他産業技術の普及講習会、セミナーの開催等
5. インキュベート室
6. 事業所における情報化の推進
7. 各種技能・技術振興のための人材育成事業の実施
8. 各種融資・助成金・補助金などの紹介及びアドバイス

資料出所：直鞍産業振興センター ADOX福岡Webページ

EMCに関しセンターに大型電波暗室等をはじめとするノイズ計測を十分に実施できる設備を所有しており、地域の（九州北部の）中小企業を中心に活用（設備機器の利用）できる体制をしいている。（参考資料：直鞍産業振興センターパンフレット）

利用者の概要(2005年1月現在)

民生利用	40%	産業用機器	44%
医療用機器	8%	その他	8%

利用形態としては、ノイズ低減及び耐ノイズ性能向上対策が全体の9割を占める。

利用ニーズについては、2002年度(初年度)：127件、2003年度：227件、2004年度(1月まで)：294件、と飛躍的に増大している。日本国内においてもEMC規制強化(医療機器EMC法規制化:2004年度)はもとより、製造業者のEMC自己確認も常識化しつつあり、今後のニーズはさらに増加するものと思われる。

同施設のような公的EMCサイト（国・県等が設立した施設）は全国に数十箇所存在し、利用料金の面では比較的安価に借りることができるようになっている。

(3) センターの計測事業の概要について

項目	備考
自主試験	使用者が自主的に行う試験
規格試験 (依頼者立会あり)	使用者立会のもと、当センタースタッフが行う試験 規格試験については、使用規格やテストプラン(使用者が作成・用意)等について事前にお打ち合わせが必要
規格試験 (依頼者立会なし)	基本的には上記と同じですが、当センタースタッフのみで行う試験 (当センタースタッフのみで対応可能なEUT限定)
試験レポート作成	規格試験の結果をもって、センター名でのレポートの作成発行

資料出所 直鞍産業振興センターパンフレット

(4) 施設仕様一覧

名称	室内寸法(m) (EUT 搬入口寸法)	電力供給能力	ターンテーブル	付加機能
大型 電波暗室	24×15×9 (幅 3m×高 2.5m)	CVCF 単相:12KVA (50/60Hz) CVCF 三相:24KVA (50/60Hz) 大容量電源:83KVA (60Hz)※1	直径 5m (耐荷重 ~3t)	圧搾空気・強制排気 給排水※2 床置き可動電波吸収体 〔手動設置〕
小型 電波暗室	4×7×3.5 (幅 1.5m×高 2m)	CVCF 単相/三相 12KVA (50/60Hz) 大容量電源:83KVA (60Hz)※1	直径 1.5m (耐荷重 ~0.5t)	
シールド 室	3.5×6×3 (幅 1.5m×高 2m)	CVCF 単相/三相 12KVA (50/60Hz) 大容量電源:83KVA (60Hz)※1		

※1 大容量電源(83KVA/60Hz)は3室切替式

※2 付加機能は無料で利用可能

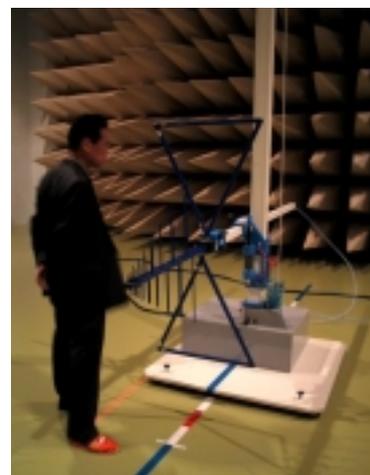
付加機能	内容
圧搾空気	流量:100リットル/分
強制排気	流量:20立方メートル/分
給排水	流量:20リットル/分

資料出所 ADOX福岡EMCサイトのご案内(平成16年4月1日現在)

(5) 試験項目

大型電波暗室

試験項目		主要特性	
		項目	仕様
EMI	放射エミッション (CISPR11,22等)	測定周波数範囲	150KHz~18GHz
	伝導エミッション (CISPR11,14,22等)	測定周波数範囲	150KHz~30MHz
		AMN 電流容量	AC 単相:250V,25A AC 三相:450V,100A
		擬似回路網	2線・4線、通信線
電力エミッション (CISPR14等)	測定周波数範囲	30MHz~300MHz	



## 小型電波暗室

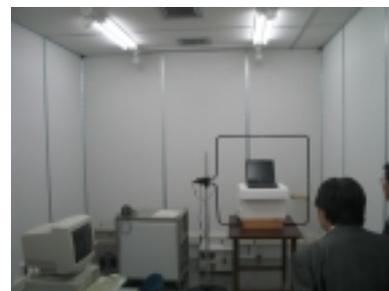
試験項目		主要特性	
		項目	仕様
EMI	放射エミッション	測定周波数範囲	30MHz～10GHz
	伝導エミッション	測定周波数範囲	150kHz～30MHz
		擬似回路網	AC 単相:250V,16A
イミュニティ	放射イミュニティ (IEC61000-4-3)	電界強度	～10V/m
		周波数範囲	80MHz～3GHz
		変調条件	AM、パルス
	伝導イミュニティ (IEC61000-4-6)	単相:M <sub>1</sub> ～M <sub>3</sub> , 25A 三相:M5,50A EM クランプ	



小型電波暗室

## シールド室

試験項目		主要特性	
		項目	仕様
EMI	電源高調波 (IEC61000-3-2)	供給電流容量	単相:12kVA 三相:12kVA
	フリッカ (IEC61000-3-3)	供給電流容量	単相:12kVA 三相:12kVA
イミュニティ	静電気 (IEC61000-4-2)	最大試験電圧	16.5k/8.8kV
	バースト (IEC61000-4-4) ※最大電圧 4.4KV	CDN 電流容量	単相:240V,16A 三相:480V,100A
		容量性クランプ有 無	有
	サージ (IEC61000-4-5) ※最大電圧 4.4KV	CDN 電流容量	単相:240V,16A 三相:480V,100A
		CDN のタイプ	通信 I/O 用 テレコムライン用
	電源周波数磁界 (IEC61000-4-8)	磁界強度	40A/m
		周波数	50Hz/60Hz
コイルの大きさ		1m × 1m	
電圧ディップ・瞬停 (IEC61000-4-11)	供給電流容量	単相:12kVA 三相:12kVA	



シールド室

※サージ試験については、危険防止のため、EUT 仕様によっては(高電圧・大電流の場合は特に)、自主試験での使用についても、状況に応じてセンタースタッフによる立会いを必要とする場合があります。

資料出所 ADOX福岡EMCサイトのご案内(平成16年4月1日現在)

## (6) EMC対策の状況

センター職員によるとEMC対策について、大手メーカーでは自社内に計測設備・機器等を所有し入念に実施している所もあるが、中小企業についてはEMC問題意識の希薄さにより、あるいはその必要性を感じていても設備等が手近に存在しない、等の理由により、EMC問題への取り組みが遅れているところが多く、特に地方ではその傾向が強いとのことである。

EMC規制については、欧州・米国はもとより、近年ではアジア諸国においても独自の法規制を整備する動きがあり、日本の電子メーカーにとって、もはやEMC対策は必須条件になりつつあるが、各企業でのEMC担当技術者の数、レベルは十分とはいえず、これを養成することが課題である。また、企業にとってはより経費が安価であることが望まれている。その

ため、直鞍産業振興センターにおいては、福岡県工業技術センター、九州工業大学等と協力し、計測技術を持った人材を養成するためEMC関連技術、その他産業技術の普及講習会を実施し、加えて企業の技術向上・技術交流においても様々な活動をしている。

今般も、機構立の九州職業能力開発大学校と協賛し、「EMC入門及び実践」というセミナーを開催した。以下にそのコース内容を示す。

講習はセンターに備えている研修室を使用し、センター内の測定機器を利用して実習なども行っている。受講生にとって実践的な知識・技術を学べる講習となる。

今後もこのような講習を実施継続されることが期待される。



コース名：EMC入門及び実践

日時：2004年11月29日(月)・30日(火) [ 2日間 ]

場所：直鞍産業振興センター ADOX 福岡  
直方市大字植木 1245-2

受講料：5,000円

定員：30名コース

概要：各種電子機器や電気装置を開発、商品化する際に、安全性、信頼性への要求として必要となる EMC (電磁両立性 = 製品の電磁ノイズ関連性能) について、基本事項や技術動向、対策手法など実践に役立つ知識・技術を習得する。

受講対象者：企業において、各種電子機器や電気装置の開発、品質保証等に携わっている方で、EMC (電磁両立性)、電磁ノイズに関連する技術・情報に関心をお持ちの方。

日時	内容
11月29日(月) 10:00 ~ 17:00	1. EMC を理解する上で必要な基本事項、用語、単位、関連技術の概要。 2. 実際の EMC サイトにおいて各種 EMC 試験法実習・デモの実施。
11月30日(火) 10:00 ~ 17:00	1. EMC に関する品質保証の考え方、製造業者が取り組むべき手順、国内外の規格・規制、EMC 試験結果の評価法。 2. 電磁ノイズを出しにくい、電磁ノイズによる影響を受けにくい製品設計のための実践対策方法。

## 第2節 実施事例

### 1. 高度職業能力開発促進センターの状況

#### (1) EMC 関連コースのアンケート紹介

高度職業能力開発促進センター（以下、高度ポリテクセンターという）では、EMC 関連のセミナーコースを4コース実施している。そのコース概要を表1に示す。さらに応募状況およびアンケートの回答者数を表2に示す。アンケートより、受講者のほとんどが、製造業で設計・開発に携わっている方であり、さらに、その経験年数は図1より、経験年数が3年から5年、5年から10年の中堅技術者の方で全体の半数を超えていることがわかる。

アンケートの一部として、コースの総合評価、実習の効果度、技術・技能の向上への役立ち度、を図2から4に示す。概ね良い評価が得られているのが分かるが、最後の意見・感想等を見てみると、自動車業界の講座や、現場レベルの対策法といった、より具体的な講習を希望される方が多いことが分かった。

表1 高度ポリテクセンターで実施するEMC関連セミナー

セミナータイトル	概要
EMCの理論とシミュレーション (12H)	ノイズの定義や特性を明らかにし、さまざまなノイズに対する理論的なアプローチの手法を学習します。また、反射やクロストークなどの特性を実験により明らかにし、回路設計において重要なノイズ対策への考え方を習得します。
EMCの対策と試験法 (12H)	ノイズを低減する方法を学び、ノイズに強い回路設計手法を習得します。また、ノイズに関する試験法やノイズの測定法、シミュレーション手法を学び、ノイズを考慮した電子回路設計に必要な技法を実験や事例研究により習得します。
電子回路から発生するノイズ対策 (18H)	EMCに関する計測量、コモンモードノイズとノーマルモードノイズに対する理解やデジタル回路から発生するノイズ対策によるコモンモードノイズの低減を実験を通して確認します。
ノイズ対策のための電磁界解析手法 (12H)	高周波回路基板からの放射ノイズ問題を中心に、さまざまな事例を学習します。電磁界解析ソフトウェアを用いたノイズの発生原因の定量的検証、高周波回路設計の手法を習得します。これにより、電磁界解析ツールをノイズ対策にどのように活用すれば良いかの指針を得ることができます。

表2 EMC関連セミナーの応募状況(2004年10月末現在)

セミナータイトル	日程	応募者数	受講者数	回答数
EMCの理論とシミュレーション	6/3~6/4	17名	12名	12名
	9/9~9/10	20名	12名	11名
EMCの対策と試験法	7/15~7/16	15名	12名	11名
	11/18~11/19	11名	未開講	未開講
電子回路から発生するノイズ対策	5/19~5/21	12名	12名	11名
	7/7~7/9	5名	5名	5名
	10/17~10/19	11名	11名	9名
	11/10~11/12	10名	未開講	未開講
	1/17~1/19	2名	未開講	未開講
ノイズ対策のための電磁界解析手法	6/16~6/17	5名	5名	5名

\* 定員は全て12名

\* 本データは10月末のものであり、11月以降の数字については未開講として示している。

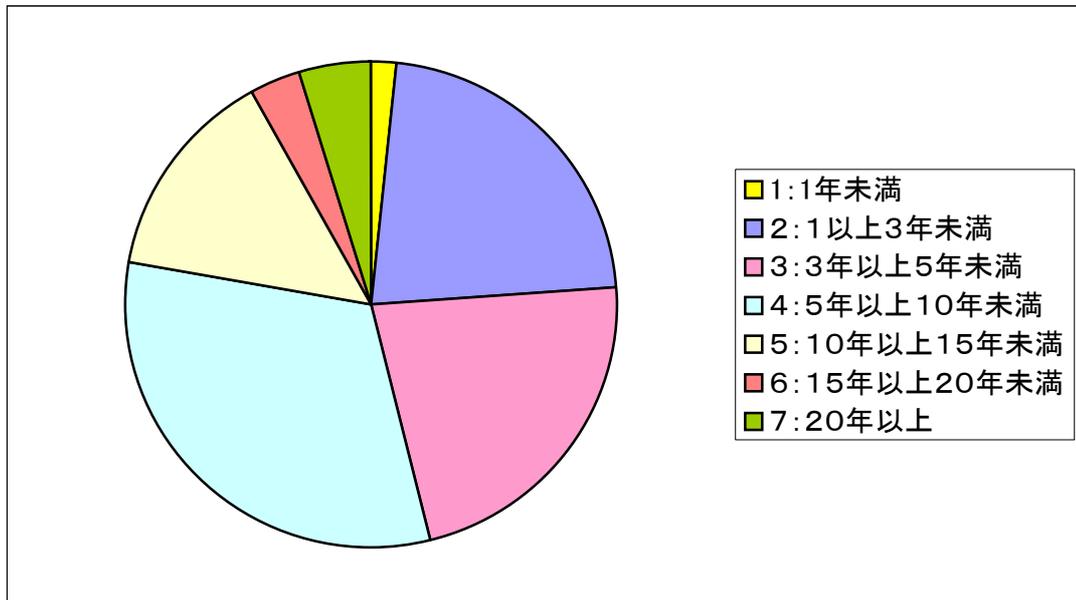


図1 EMC関連セミナー受講者の現職における経験年数

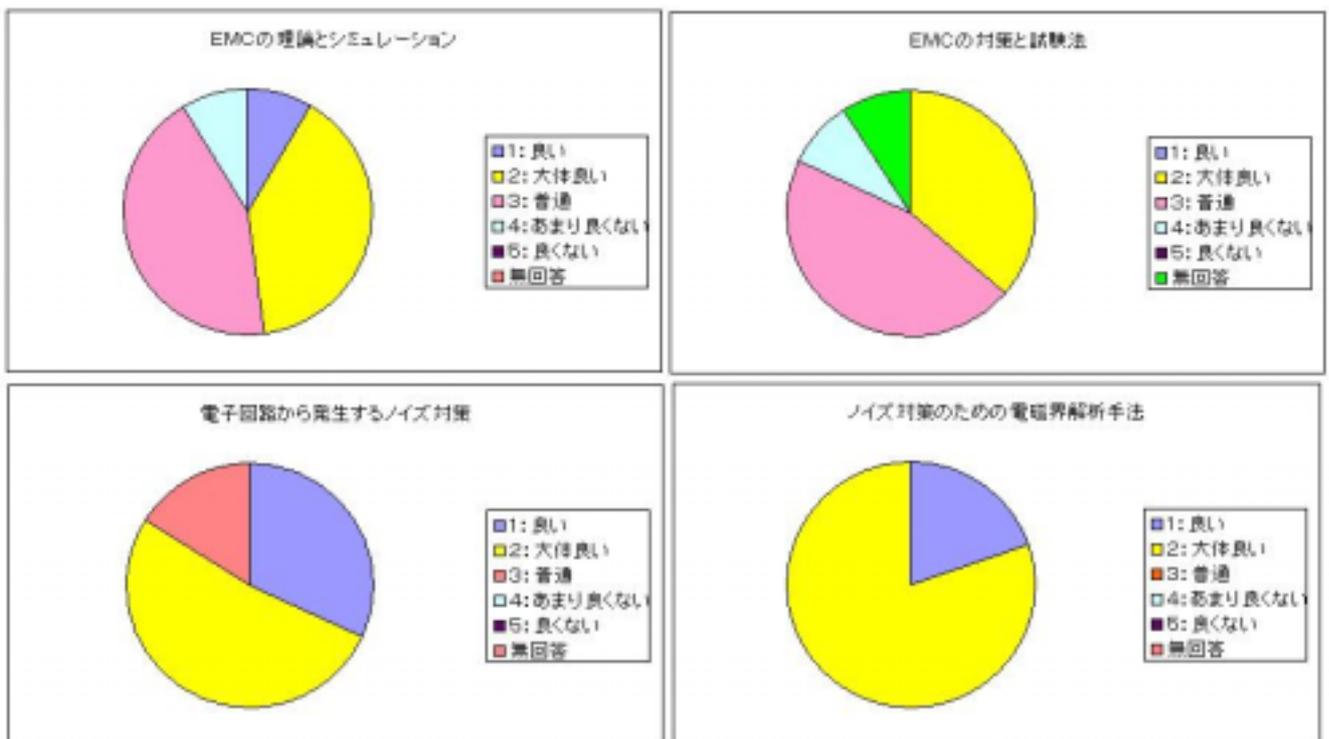


図2 コースを総合的に評価していかがでしたか

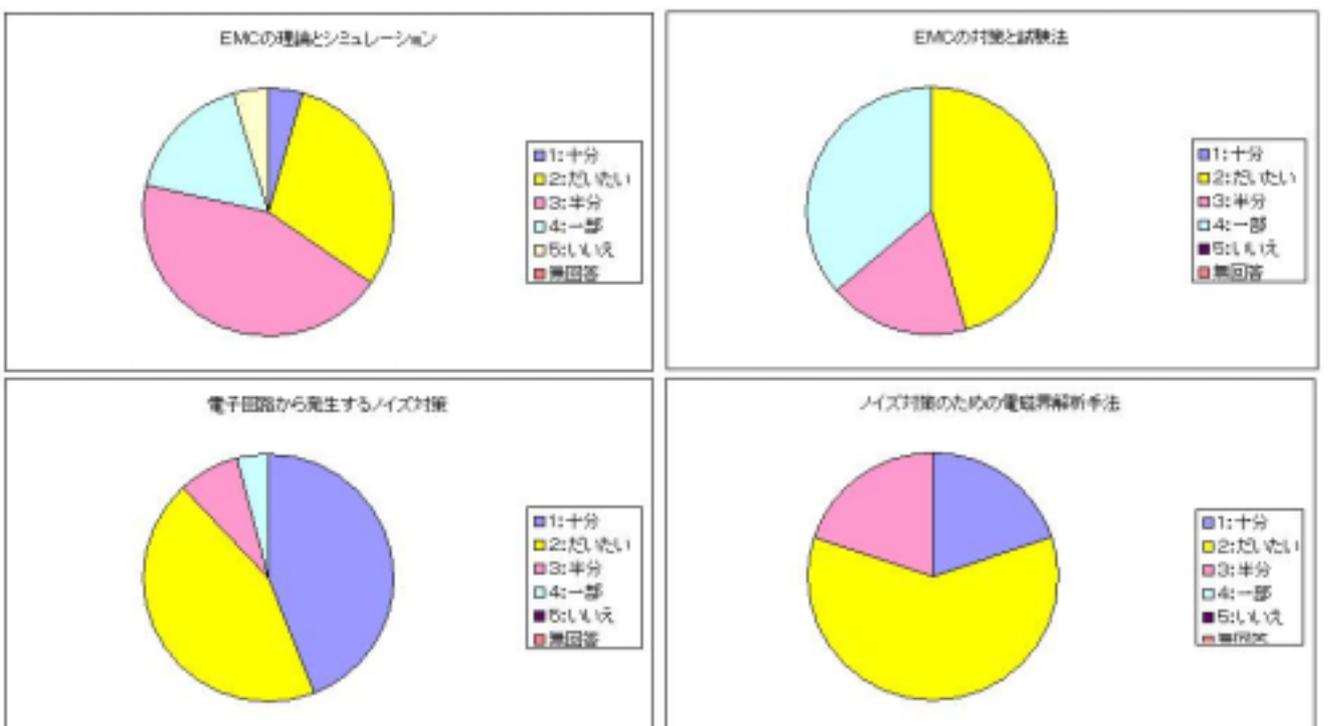


図3 コースで行った実習や演習は効果的でしたか

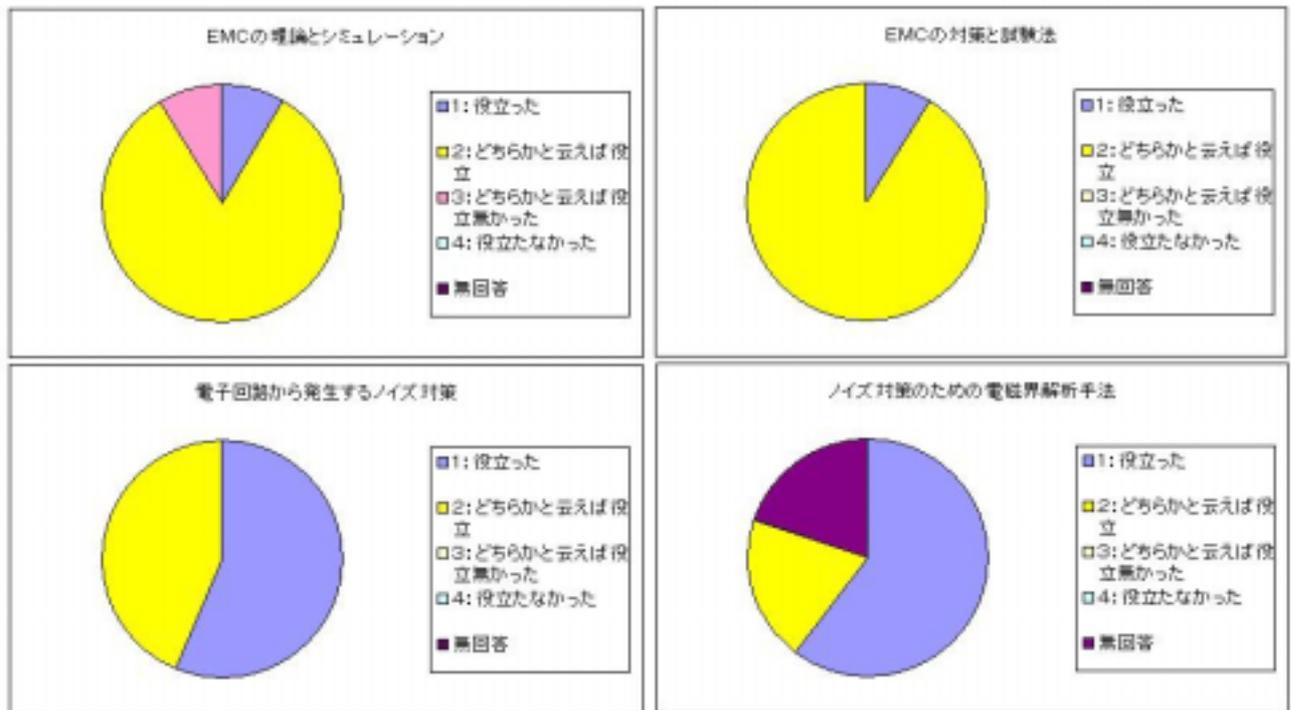


図4 知識及び技能・技術の向上に役立ちましたか

< EMC 関連セミナー受講者の意見・感想等 >

- ・ EMC 内容の教育は存在しているが、家電・情報機器寄りの内容のようである。自動車業界業務従事者による、自動車業界の講座を希望する。
- ・ 対策について具体例を中心、詳細な内容で説明して欲しい。
- ・ シミュレーションの時間がもっと欲しい。
- ・ エミッション、イミニティの評価（試験）方法に特化したセミナー希望（実技中心）。
- ・ 特定の測定サイトの技術担当（メーカー）の方などを講師として頂きたい。
- ・ もっと現場レベルの対策・方法が知りたかった。
- ・ ノイズのメカニズムについて理解したい。
- ・ ノイズ解析には、アンテナの理論と解析（電磁波工学）が必要であるが、電磁波工学を勉強していない人には、今回のセミナーは難しい。
- ・ 自動車業界寄りの EMC に関する内容を希望。例えば 95/54EC に関する内容であるとか。特に評価内容に関して。
- ・ 人気のコースは、中々受講出来ないため、開催回数を増やして欲しい。
- ・ カラー印刷して欲しい。グラフ等見えにくい。
- ・ 講習は 2 日間にして欲しい（3 日も会社を休めない）。

## (2) 高周波関連コースのアンケート紹介

次に高度ポリテクセンターで実施している高周波関連のセミナーコースについて、同様にアンケートの紹介を行う。高周波関連のセミナーコースは、表3に示すように8コース実施している。各セミナーの特徴として、シミュレータのみを使用したコース、測定器のみを使用したコース、シミュレータと測定器の両方を使用したコースと、受講者のニーズ等に合わせてその構成が分かれている。各セミナーの応募状況とアンケートの回答者数を表4にまとめた。

表3 高度ポリテクセンターで実施する高周波関連セミナー

セミナータイトル	概要
GHz 帯高周波回路設計技術 者養成コース (90H)	GHz 帯の高周波回路の設計実務コースです。ASK 変調の無線送受信機の設計、試作、評価までを行い実設計のノウハウを習得します。
実習で学ぶ高周波回路技術 (12H)	高周波モジュールや同軸ケーブルを用いて各種高周波回路の設計法や利用法を学ぶと共に、測定器の使用方法についても習得します。
高周波の特性と デバイス測定・評価技術 (18H)	分布定数の考え方やデバイスの特性を知るために必要なパラメータの測定方法を実習により習得します。
GHz 時代の高周波回路設計技術 (18H)	シミュレーションと部品・モジュールの測定を通して高周波回路設計のノウハウを習得します。
高周波導入技術 (12H)	発振回路や FM 変調回路の実習を通して高周波回路の導入技術を習得します。
RF - IC 設計技術 (18H)	MOS や BJT の各種パラメータの設定方法から、CDMA ローノイズアンプやギルバードセルミキサ等の設計手法を習得します。
LTCC 設計技術 (12H)	小型で高密度な高周波回路設計としてニーズが高まる LTCC による設計技術を GSM を例に習得します。
RF - ID (無線 IC タグ) 設計技術 (12H)	アンテナ設計および通信性能の評価方法をシミュレータ(電磁界・回路・システム)を用いて習得します。

表4 高周波関連セミナーの応募状況（2004年10月末現在）

セミナータイトル	日程	応募者数	受講者数	回答数
GHz 帯高周波回路設計技術者養成	10/4 ~ 12/10	17名	12名	12名
実習で学ぶ高周波回路技術	5/25 ~ 5/26	12名	12名	11名
高周波の特性と デバイス測定・評価	8/4 ~ 8/6	9名	9名	9名
	10/20 ~ 10/22	10名	10名	9名
GHz 時代の高周波回路設計技術	8/3 ~ 8/5	13名	12名	12名
高周波導入技術	1/22 ~ 1/23	9名	未開講	-
RF - IC 設計技術	6/1 ~ 6/3	4名	4名	4名
LTCC 設計技術	6/15 ~ 6/16	10名	10名	10名
	12/14 ~ 12/15	3名	未開講	-
RF-ID (無線 IC タグ) 設計技術	6/17 ~ 6/18	12名	12名	11名
	12/16 ~ 12/17	8名	未開講	-

\* 定員は全て12名

ここからは、測定器のみを使用した「実習で学ぶ高周波回路技術」、シミュレータのみを使用した「RF-ID (無線 IC タグ) 設計技術」、両者を両方とも使用する「GHz 時代の高周波回路設計技術」、および15日間(90H)の特別コース「GHz 帯高周波回路設計技術者養成コース」の4コースに絞って各アンケート項目をまとめた。図5に、これらのコースの経験年数を示す。EMC コースと比較すると、1年未満と10年以上の方が増えているのが分かる。

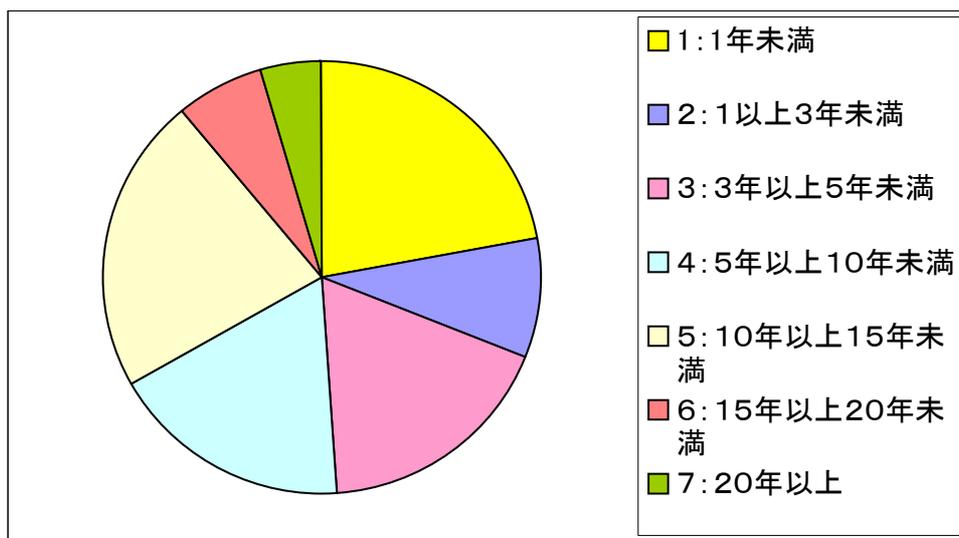


図5 高周波関連セミナー受講者の現職における経験年数

EMC と同様に、コースの総合評価、実習の効果度、技術・技能の向上への役立ち度を図 6 から図 8 に示す。概ね良い評価が得られている。しかし、シミュレーションのみのコースより、測定器などの実測を交えたコースの方の評価が高いことが分かる。

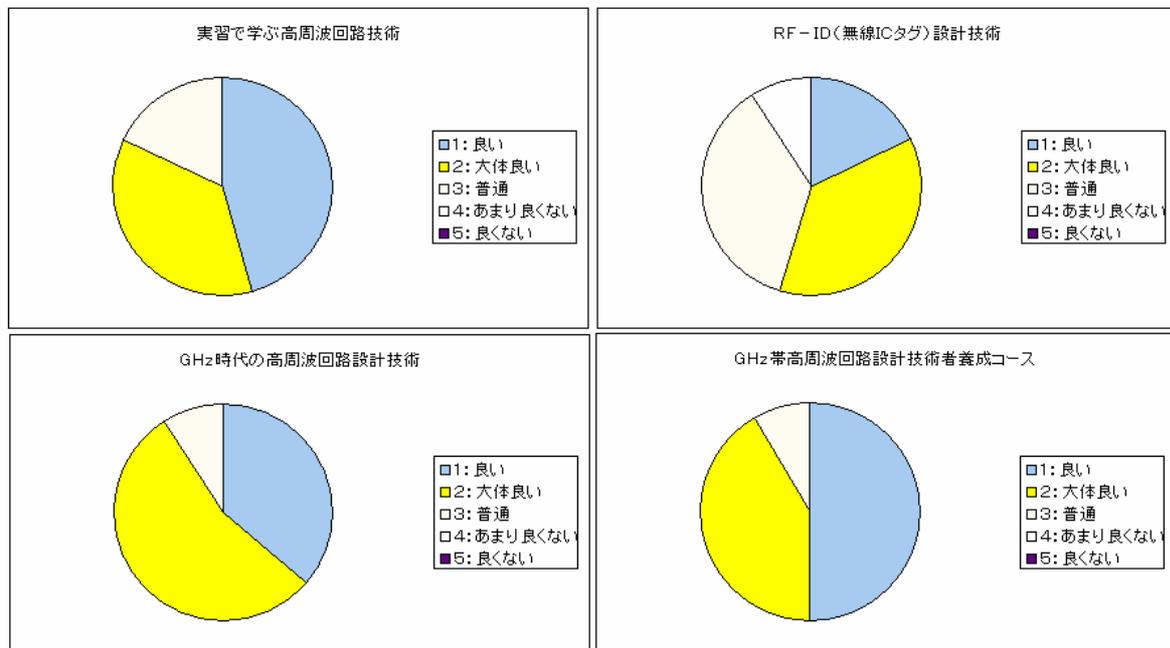


図 6 コースを総合的に評価していかがでしたか

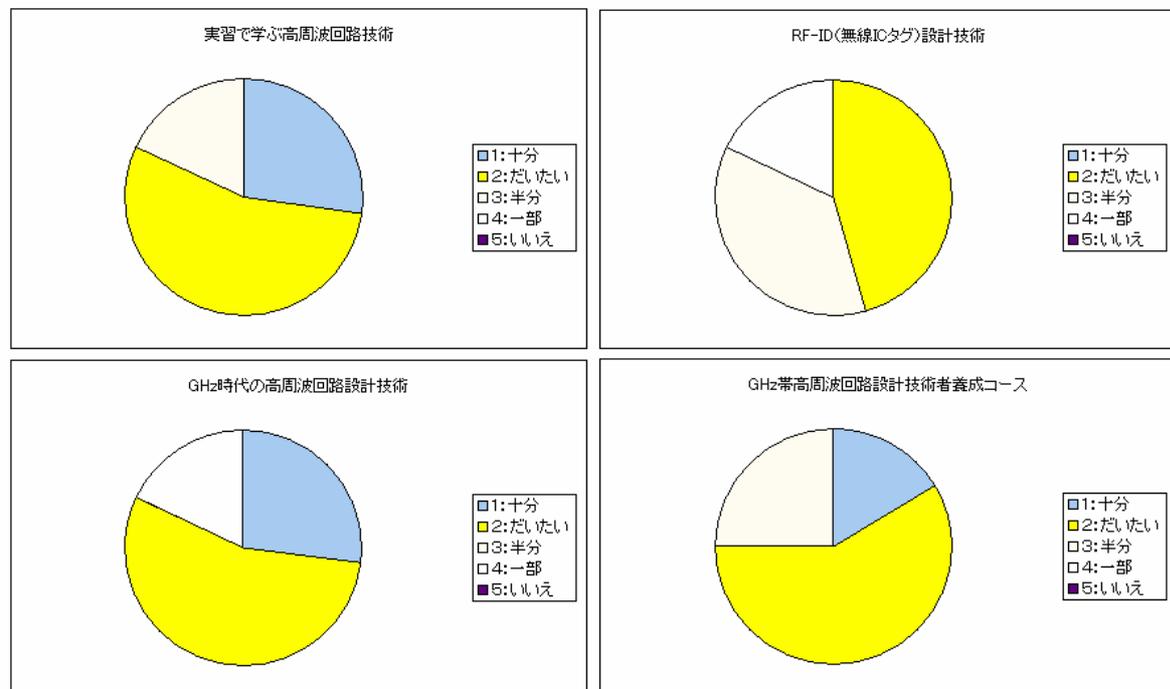


図 7 コースで行った実習や演習は効果的でしたか

図 8 の技術・技能の向上への役立ち度は、図 4 の EMC と比較するとかなり好評であることが分かる。EMC ではより実践的なコースを希望していることが伺える。

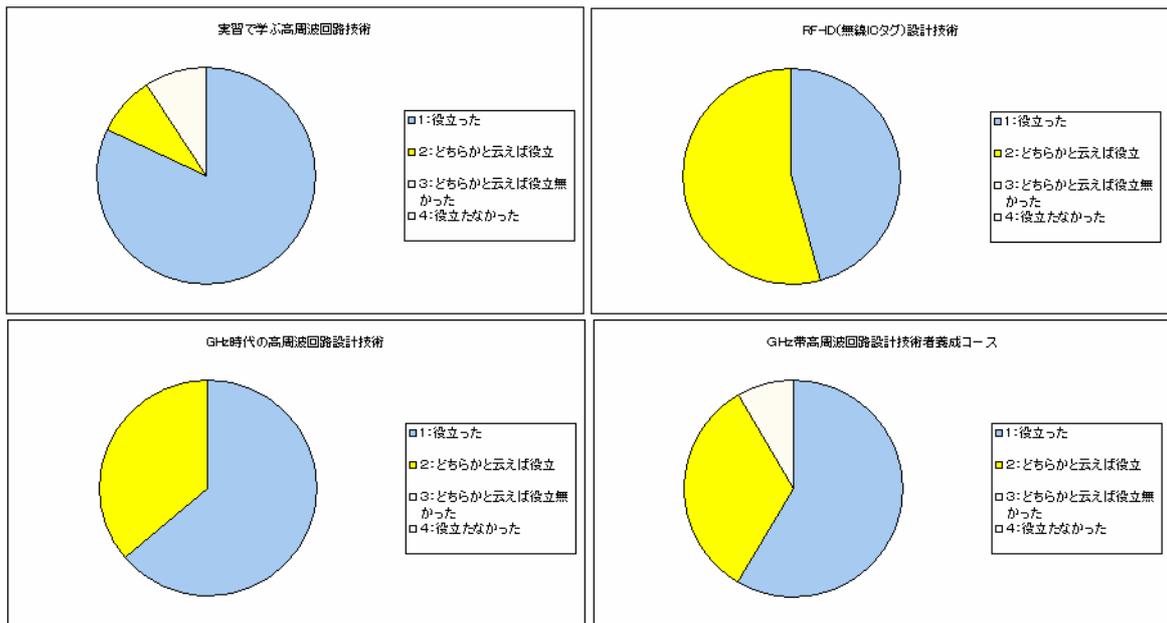


図8 知識及び技能・技術の向上に役立ちましたか

< 高周波関連セミナー受講者の意見・感想等 >

- ・ 理論的説明や実際に設計を行った際のノウハウ等が聞きたかった。
- ・ 実習を伴うコースでは、テキストに具体的な操作を明記して欲しい。
- ・ ショートカットや汎用操作は一覧表にして欲しい。
- ・ ソフトの操作方法より、操作の目的意味に重点を置いて説明して欲しい。
- ・ テキストで、ソフトウェアの基本操作に関する部分が補充されると良い。
- ・ シミュレーション実習時の設定条件を明記した物があると良い。
- ・ 設備が充実し良い。
- ・ 受講料も民間に比べてリーズナブルで受講し易い。
- ・ 一人1台のPCだったので良かった。
- ・ さらにこのセミナーの延長で、市場に出ている製品の解析、評価などを希望します。
- ・ 内容が ” 広く浅く ” という感じだったので、もう少し特化しても良かった。
- ・ マッチングの項目については、量の割には時間が足りない感じがした。
- ・ 理論の話はもう少し、詳しく掘り下げて欲しい。
- ・ 参考書を紹介して欲しい。
- ・ 受講前にテキストが配布されれば、もっと講義内容を理解できると思います。
- ・ 関西でも、このようなセミナーをやって欲しい。

## 2．東北職業能力開発総合大学の事例

現在、高度な電子機器が産業界に多く普及しているとともに、携帯電話など一般社会に急速に浸透している。しかし、それに伴って電子機器の電磁環境も、複雑、多様化している。また、それらの電子機器およびシステムから発生する EMI(電磁波妨害)が、他の機器の障害になるなど、社会問題として大きくクローズアップされてきている。

今日では電子回路機器を設計・製作する上で、電磁環境問題は避けては通れない問題となっている。世界的に見ても多くの国々がこの電磁環境問題を取り上げ、輸入される電子機器において、これらの電子機器における EMI が十分に検討され、対策されて仕様を満足しているかが問われている。

私たちは実践技術者の育成という理念に基づき、産業界で必要とされている実践技術者育成のための教育訓練を行っている。当大学でも設計・開発のための技術教育を行い現場で役立つ技術・技能を追求した「ものづくり」を実施している。このことから今後要求される技術向上をなし得るには、これまでの電子回路設計・製作にくわえて、電子機器から発生する電磁環境問題の重要性を教育訓練に取り込むことが、必要な課題となって来ている。

電磁環境問題の中で各機器に要求されることは、機器から放射する妨害(EMI)を制御するとともに、機器自身が外部からの妨害波に対して、排除する能力(EMS)を高めることが必要である。

職業能力開発大学校では、この身近な問題を一つのテーマに選定し、外部の企業から客員教授を招き、電磁環境問題の技術教育を行っている。電磁環境問題は、今後の電子機器設計に欠かせない技術であることから、教官のみに限らず学生にも必要な知識と考えられる。学生が自ら設計した電子回路機器から放射されるノイズについての知識を学び、今後の設計を通じて、社会教育実習、電磁環境問題に役立てればと思う。

今回紹介する教材の内容は、東北職業能力開発大学校で行っている「EMC と高周波機器」の中から EMC に関連した項目を取り出し編集した。教材内の第 1 章では EMC の概要について記述、第 2 章では EMC に関連した内容で必要な電磁気、伝送路について述べている。第 3 章では EMC 問題を考慮した設計手法と研究、第 4 章では EMC に関する国際法から、EMC 規格と規制の概要について述べている。教材内の第 5 章では今日の電子機器を例に上げて、電子機器の高周波化と EMC 問題、第 6 章はその他として、本教材で記述出来なかった EMC 関連の内容について述べている。

なお、ここで紹介する教材は、本校で客員教授を務める大内氏からの資料に基づき編集作成した教材である。

教材事例紹介 ～EMC と高周波機器より～（東北職業能力開発大学校）

第1章 EMC について

近年、電子機器や電子システムに関する電磁障害問題は、電磁波を利用する多くの分野で、各種の問題を引き起こすことから国際規格が整備され規制が厳しくなっている。特に欧州連合（EU）の加盟国では、ノイズの放出(EMI)とノイズ耐性(EMS)を含むEMC(電磁的両立性)規制は厳しく、これに適合しない電子機器製品は市場に出荷できない状況にある。

1-1 EMC と EMI、EMS の定義

電子機器が不要な電磁波を発生せず、また妨害電磁波の影響を受けずに、その性能を両立させることを EMC(Electro Magnetic Compatibility)電磁環境適合性、電磁環境両立性と呼んでいる。また、EMI、EMS は一般的に下記のように定義されている。

- ・EMI(Electro Magnetic Interference)電磁妨害・干渉とは、電子機器から発生した電磁波などが他の電子機器に電磁的妨害を与えること。
- ・EMS(Electro Magnetic Susceptibility)電磁妨害感受性、イミュニティ、電磁妨害耐性とは、外部からの妨害電磁波に対する電子機器の耐性と呼び電磁感受性(EMS)の逆数として表せる。

$$\text{イミュニティ} = 1 / \text{EMS}$$

図1にEMCの基本体系を示す。実際のシステムはこのように単純に分けられないことが多い。また、電磁放射には、意図的な放射(放送、通信など)と、非意図的な放射(ノイズ)がある。役に立たないものはノイズである。

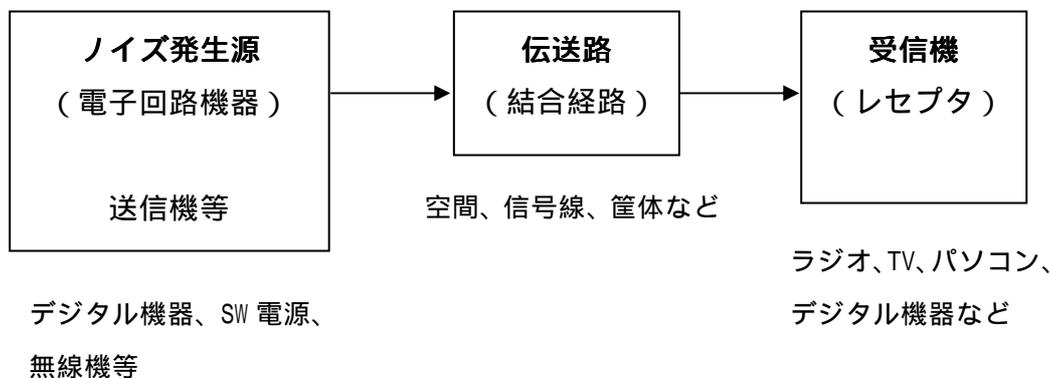


図1 EMC の基本体系

## 1-2 環境において電磁的に整合するための EMC 必要条件

電子機器が電磁環境問題において EMC の条件に適合するためには、下記の 3 条件が必要とされている。これは下記のアシモフのロボット 3 原則に似ていて面白い。

- ( 1 ) 他のシステムに妨害を与えない
- ( 2 ) 他のシステムから妨害を受けない
- ( 3 ) 自分自身に障害を与えない

### アシモフのロボット 3 原則

- (1) ロボットは人間に危害を加えてはならない
- (2) 人間に従わなければならない
- (3) 自己を守らなければならない

## 1-3 電磁環境的に両立するための要求事項

電磁環境は電磁区な環境のことで、電気を使用するすべての機器は動作時に電磁波を放射する。同時に電子機器に接続されている電源等にも影響を与え、不要なサージ波を発生することがある。

国際電気標準化委員会では、電磁環境をその場所に存在する電磁現象のすべてと定義しており、機器が存在する、住宅、商店、工場、病院等での規制を行っている。詳しくは第 2 章で説明するが、電磁環境的に両立するための要求事項として下記の 2 項目についての義務事項を課している。

- 1 . 国家規格による義務事項  
法規制に適合させるための事項
- 2 . 製品製造業者により設定された事項  
製品機能を満足させるための事項

## 1-4 EMC の社会問題と環境問題

今日コンピュータや携帯電話などのいろいろな電子機器が、日常生活に用いられているが、極めて便利なこれらの電子機器も、その数が膨大になるとさまざまな電磁環境問題が現れてくる。さらにコンピュータ機器以外でも家庭の電子レンジ、ラジオ、自動車などの機器設備から不要な電磁波が発生している。

これらの問題を考えるため電磁環境に対する社会問題や技術的検討、情報交換をおこなうことが必要不可欠となる。

### 1.4.1 背景

- (1) 電子制御機器のデジタル化、CPU クロックの高速化、携帯電子機器などの高周波機器の増加などによる電磁波の発生
- (2) ムーアの法則(1.5年で集積度が2倍になる)に代表される半導体技術の進歩
- ・集積度はCMOSトランジスタのゲート長('02現在0.18~0.1 $\mu$ m)で表されることが多いが、ICの集積度が大幅に増加している。  
参考：1970年代はゲート長10 $\mu$ m(参考：紙厚70 $\mu$ m, 髪の毛80 $\mu$ m, 髪の毛200 $\mu$ m)
  - ・CPUの集積度の向上：1971年最初のマイコンは(インテル4004)4bitだったが、今日集積度の向上で32bit、64bitが当たり前となっている。  
これは、世界初の計算機(米：ENIAC)は真空管で造られ、教室ほどの大きさだったが、現在のパソコンの方が性能がすぐれている。
- (3) メモリの増加：マイコントレーニングキットTK85のRAM、IC8ヶで1kbyte(30年前)であったものが、現在はDRAM1ヶで256M以上である、また、MRA、FeRAM等によるハードディスクへの置き換えも検討されている。

### 1.4.2 電磁波の活用による負の影響(ノイズトラブル)

- (1) 電子機器へのノイズによる影響と事件例
- ・製鉄所溶鉱炉事件(米国で溶鉱炉から運搬中の高温溶鉄が人にふりかかり死亡)
  - ・オートマチック車暴走事件(車のCPU制御がノイズで誤動作)
  - ・飛行機への影響：ノートパソコン、CDプレーヤー、ゲーム機等による誤動作
  - ・医療機器はノイズに弱く、病院での携帯電話機器の使用禁止
  - ・電源高調波電流による事故：電力用コンデンサ焼損事件、パソコン及び周辺機器の急増による高調波電流の発生でSW電源の奇数時高調波電流が還流、古いビルで急激に電子化した建物で事故が急増
  - ・携帯電話の電磁波で誤動作したと見られる電動車事故が急増
  - ・高速道におけるECTのトラブル、料金所の屋根に電磁波が乱反射し妨害
- (2) 人体への影響
- ・携帯電話機のペースメーカーへの影響 距離が22cm以上であることが必要
  - ・VDTの影響、電子銃からのX線の発生、妊婦への影響が懸念、女性オペレータの異常出産、白内障が指摘
  - ・電磁調理器の妊婦への影響 WHO推奨値62.5mGauss以下、30cm以上なら影響は極めて少ないと思われる
  - ・高圧送電線問題 ワルトハイマー論文、米コロラド州高圧送電線の下の子供はガン(白血病、脳腫瘍)にかかる割合が3倍多いとの報告  
スエーデン・カロリンスカ研究所の報告

・日本では高圧送電線 地上 1mで電界強度 3kV/m 以下の基準が設けられている  
上記の事例には必ずしも因果関係が明確でなく調査や研究途上のものもある。

### (3) 電磁波に関連する誤った認識のケース

- 1) 携帯電話機を振ると受信感度が良くなる。
- 2) 電子レンジで猫を乾かそうとした事件。
- 3) 携帯電話機の脳への影響、出来るだけ頭から話して使用するのが良い？  
現在、問題視され規格が検討されているが、電力レベルは携帯電話 800mW、PHS10mW と低く、通常の使用では問題にならないと思われる。  
但し、2002年6月1日から携帯電話機は、SAR 測定が義務付けられた。  
SAR (Specific Absorption Rate): 生体の電磁波吸収量の尺度。

・電磁波が目に見えず一般の人には電磁波というものが理解しにくい所から、誤解を招きやすいケースが多い、このため電磁波に対する正しい知識と理解が必要である。

### 1.4.3 電磁波に関する情報漏洩の問題

情報漏洩問題とは、特殊なアンテナにより電磁波を傍受すると情報漏れに対策を施したはずのパソコンの画面読み取り、パスワードの解析も可能となり、個人や企業の情報が盗まれる。

電磁波を傍受して ID やパスワードなどを入手すれば、システムの中に入ってコンピューターウイルスをばらまいたり、データを書き換えたりすることもできる。また、プリンタやマウスからの電磁波でも取得可能になり、サイバーテロや情報漏れなど、電磁波がもたらす脅威が増大している。

このため、情報漏洩の問題について 2000年11月に郵政省(現総務省)において、漏洩する電磁波対策の必要性が指摘され、下記のような問題に対応する技術開発課題が提案された。

- (1) 情報システムへの不正侵入: 銀行オンラインシステムなどに関する事項
- (2) 電子メールデータ盗聴、破壊、改ざんに関する事項
- (3) サービス不能攻撃等に関する事項

電磁波に関連する事件としては、みずほ銀行の例がある、これは、2002年4月1日に開業したみずほ銀行で ATM のトラブルが生じ、キャッシュ・カードを使った現金の預け入れや引き出しなどができない事故が発生した。ソフトのバグが原因らしいが、電磁波の影響もあったのではないかと云われた。

米国では、電磁波の情報漏洩に関しては早くからその危険性を認識し、「テンペスト」とよばれる厳しい規格を採用している。

## 第 2 章 EMC 関連の知識

EMC について学ぶためには、電気回路、電子回路、電磁気学の基礎的な知識が、必要になってくる。ここでは、電磁気学・電気回路の基礎的な分野で特に EMC に関連した項目と電磁波と伝送線路について記述する。

### 2-1 電磁気学（EMC を理解するための基礎知識：電磁波が見えるようになるために）

#### 電磁気現象（電磁波発見以前に知られていた現象）

##### （ 1 ）電流と電界の関係

- ・雷と静電気 ベンジャミン・フランクリンは 1752 年、凧をあげて、金属鉤に火花が飛びライデン瓶に電気が貯まる実験を行って、雷が電気であることを確かめた。これは、当時最も危険な実験といわれ、ロシアの科学者ヒリマン教授は同様の実験をして死亡した。現在でもフランクリン・ジャパンという、雷観測ネットワークなどの調査を行う調査会社がある、図 2 はオランダのライデン大学のミュッセンブルーク教授により 1746 年に考案されたライデン瓶である。

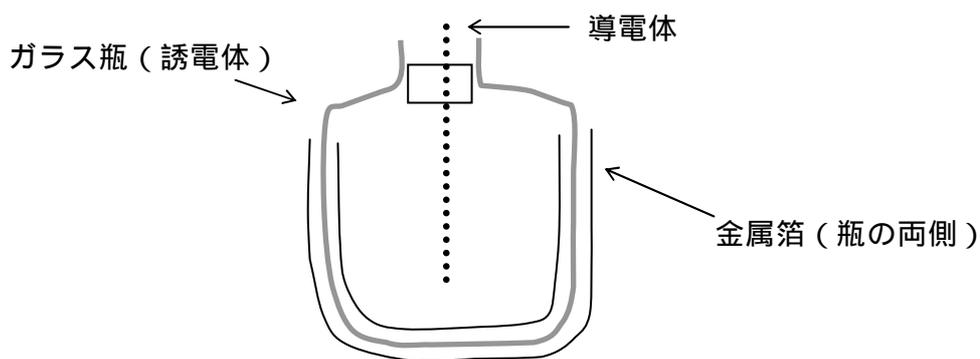


図 2 ライデン瓶

- ・電荷を蓄え得るコンデンサーでの電気力線（静電気の +、- はフランクリンによって決められた）。図 3 はコンデンサでの + 電荷からの電気力線を示す。

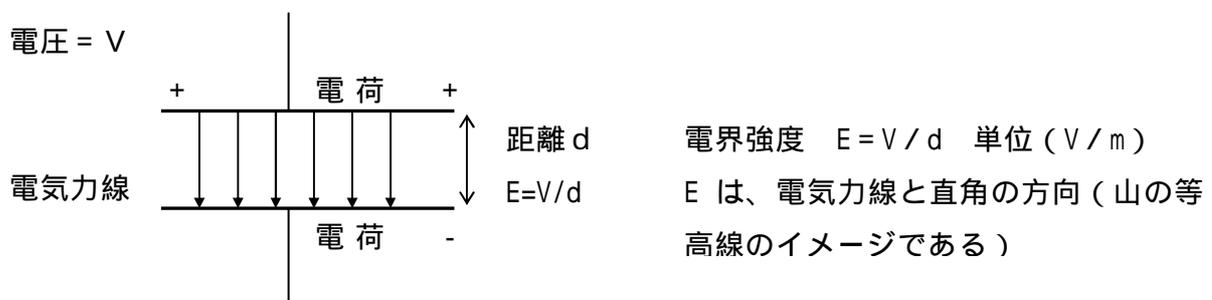


図 3 電気力線

コンデンサでの電荷量と電圧の関係は、次式で表せる。

$$Q = C \cdot V \quad (\text{単位：クーロン})$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S / d \quad (\text{単位：ファラッド})$$

ただし  $\epsilon_0 : 8.9 \times 10^{-12}$  (真空の誘電率 F/m)、 $\epsilon_r$  : 材料の比誘電率

$$I = dQ / dt \quad (\text{A})$$

(2) 電流と磁界の関係

- ・ エルステッドによる電流と磁石が関係する実験

導線に南北方向に電流を流しても動かないが、東西方向に流すと動く。これをエルステッドは磁石が動くのは、らせん状の電流が流れると考えた。図4に電流と磁界の関係を示す。

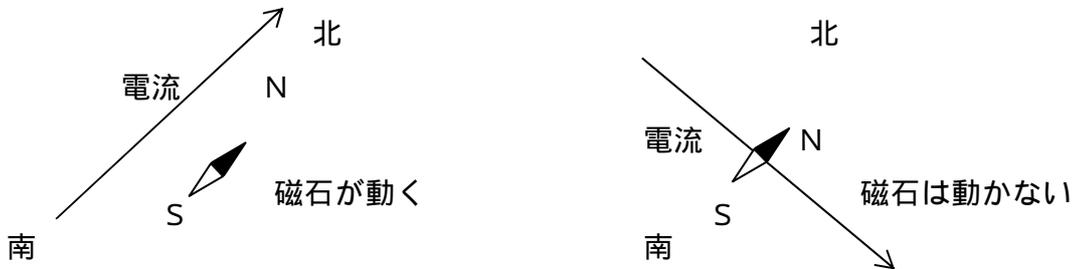
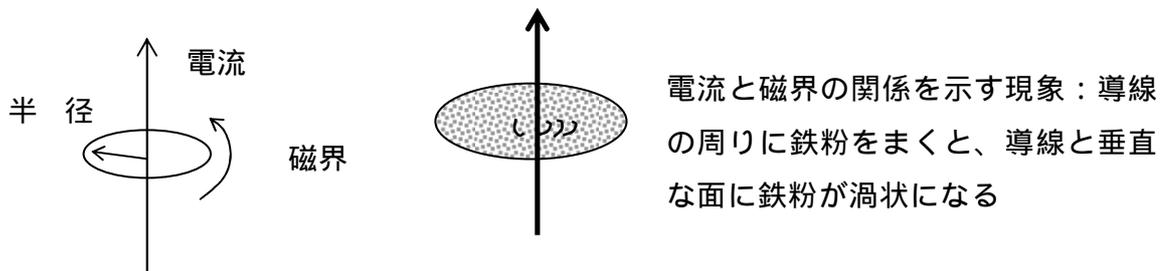


図4 電流と磁界

- ・ アンペールの右ネジの法則

アンペールによって電流と磁界の関係が明らかにされた、即ち電流が流れることで、導線と垂直の平面に右ネジの関係で図5になるような磁界が発生することを発見した。



(磁界の計算式) 線状電流 I が流れることにより発生する磁界の強さは

$$\oint \mathbf{I} = Hdr \text{より } H = I / 2\pi r \quad \text{単位 (A/m)}$$

図5 線状電流により発生する磁界

< 例題 >

- ・ 計算例：日本での地磁気による磁界の強さは 約 24A/m である。

上の磁界の式からこれと同等となる電流、半径を求めよ。

( 1 例：電流 15A , 半径 10cm )

( 3 ) 電磁誘導現象とその利用

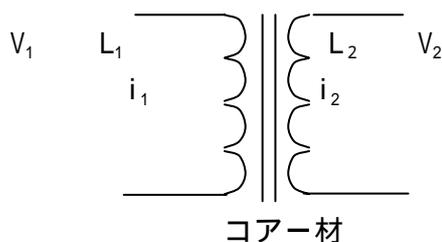
・ トランス

トランスは多くの電子機器で使用されている。このトランスの特性は巻線、巻数比、コア材、結合度等で決まる。たとえばコアの磁性材により、B-H カーブの特性が決まる。図6はトランスの結合度とコア材のB-Hカーブである。

ただし  $\mu$  : 材料の透磁率      B : 磁束密度

k : 結合度

$$M = k\sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad \text{: 相互インダクタンス}$$



$$\begin{aligned} V_1 &= j\omega L_1 i_1 + j\omega M i_2 \\ V_2 &= j\omega M i_1 + j\omega L_2 i_2 \end{aligned}$$

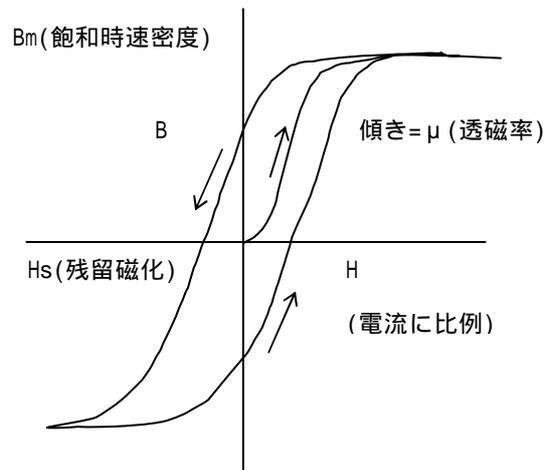


図6 トランスの結合度とB-Hカーブ

・ 渦電流(eddy current)

導体中を通る磁束が変化するために生じ、導体内部だけで渦状に流れる電流を渦電流という。

渦電流はアラゴにより、1824年に磁石の動きにつれて円板が回る不思議な現象として発見された。後の1855年に、この現象はフーコーによって渦電流が原因であることが解明された。フーコーはフーコーの振り子(長さが変わっても等速)で光の速度を測定(光の波動説が確定)した。ジャイロの発明者でもある。

この用途としては、電力計のメータ、誘導モータ、アルミ缶のリサイクル時の選別などはこの原理を利用している。渦電流はトランスの電力損失(鉄損:コアを薄板に分割して低減)となるが、IH炊飯器、IH調理器等では、逆にこの電力損を加熱装置として利用している。

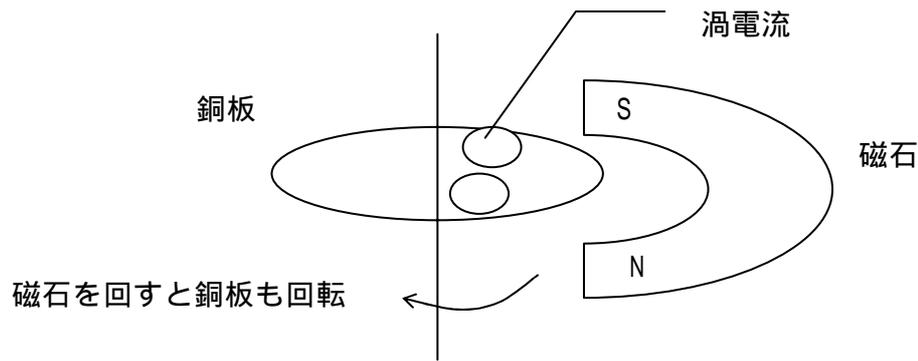


図7 渦電流現象

高周波のノイズ抑制に使用されるFB(フェライトビーズ: 損失利用)も同様の原理である。図7は、渦電流を利用した電力計のメータの基本図である。

- ・表皮効果(skin effect)

周波数が高くなると、電流は導体の表面を流れるようになる。電流によって発生した磁界は電流の流れを妨げるように働く、中心部ほど磁界が強いため電流は導体の外側を流れるようになる。図8は導体中を流れる電流を示している。

このため高周波では単線ではなく、リッツ線(細線をよりあわせたもの)を用いる方が良い。

例：高周波トランス、IH炊飯器のコイル



図8 導体中の電流

## 2-2 電磁波の発見

マクスウェルの電磁方程式から導き出される一番大きなことからは、電界、磁界が波動的になって伝搬するということである。

- 1831年ファラデーにより電磁誘導が発見された。

電磁誘導は、図9(a)においてA、Bは互いに近くに置いた二つの回路で、Aには電池とSWがあり、Bには検流計がある。いまAのSWを閉じてAに電流を流すとBの検流計が振れる。しかし、それはAに電流が流れた瞬間のみで、しばらくするとBの検流計は振れなくなる。

つぎにSを開いてAの電流を切ると、その瞬間にまた検流計が振れる。その際流れる電流は向きは、Sを閉じるときと、開くときでは反対になっている。

このようにAの電流を流したり切ったりするときに、その近くにある他のBの回路に電流が流れるとすると、Bには瞬間的に電流を流す向きの起電力が発生したと考える必要がある。

この現象は(b)の磁石の出し入れ時にも電流が発生する。

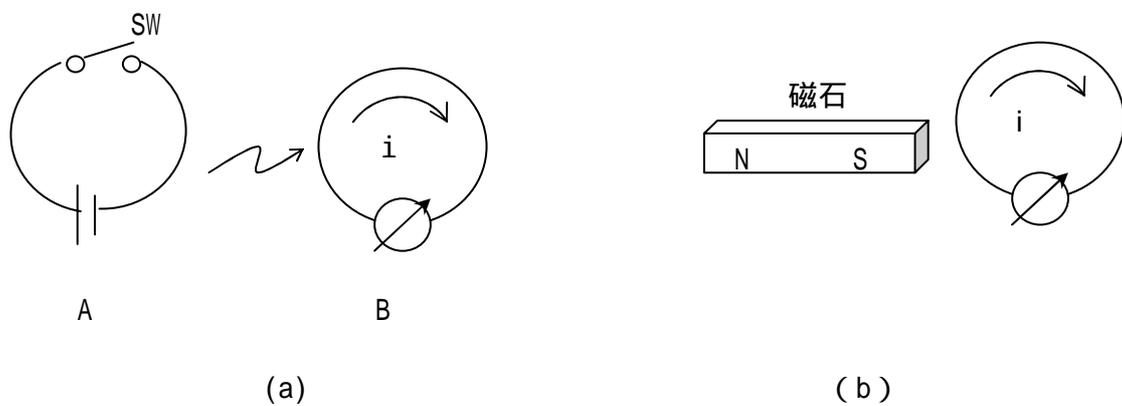


図9 電磁誘導

- 1867年 マックスウェルの数式による電磁波存在の予言

上記回路において、2つの電極の間(コンデンサ)には導体がないのに電流が流れる。マックスウェルはコンデンサの中を通して電流が流れていると考え、これを変位電流と名付けた。図10はマックスウェルの変位電流の考え方である。

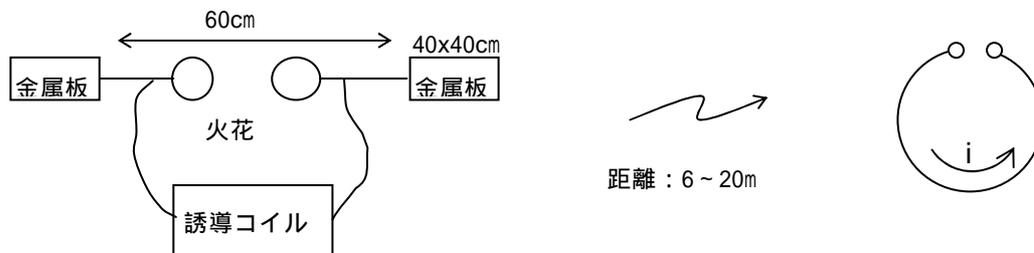


図10 マックスウェルの変位電流

### マックスウェルの電磁界方程式

		<式の意味>
$\text{rot } \mathbf{E} = - \frac{d\mathbf{B}}{dt}$	( 1 )	電磁誘導の式 ( 磁束密度が変化すると渦状の電界が発生 )
$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{d\mathbf{D}}{dt} + \mathbf{J}$	( 2 )	変位電流・アンペールの法則 ( 電流・電束の変化で磁界が発生 )
$\text{div } \mathbf{D} = \rho$	( 3 )	電荷 があると電束が発生する
$\text{div } \mathbf{B} = 0$	( 4 )	磁束は発生源がない ( 単磁極は存在しない )

#### ・1888年 ヘルツによる電磁波の証明実験



金属球に誘導コイルから高圧をかけ火花を発生させる

送信部で火花を発生させると誘導コイルに火花が発生する

図 11 ヘルツによる電磁波発生の実験装置

・ヘルツにより、マックスウェルの予想が正しいことが初めて証明された。このことから周波数の単位としてヘルツが使われるようになっている。図 11 はヘルツによる電磁波発生の実験モデルある。

#### ・1899年 マルコニーによる無線通信の実験

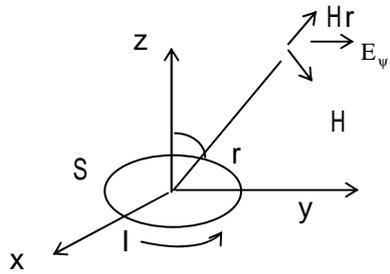
英仏海峡間のモールス信号の無線通信に成功

・2002年 無線通信方式は、さらに発展をとげ、現在の携帯電話へと結びついている。

### 2-3 電磁界強度計算

#### (1) アンテナの電磁界強度計算

##### ・ループアンテナの場合



$$E_{\psi} = 1.3 \times 10^{-14} (f^2 S I \cdot 1/r) \sin \theta \quad (\text{V/m}) \quad (5)$$

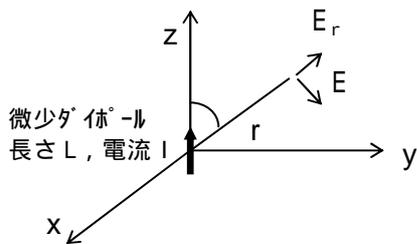
$E_{\psi}$  : 電界強度  $f$  : 周波数  
 $S$  : ループアンテナの面積  
 $I$  : 電流  
 $r$  : アンテナからの距離  
 $H_r = 0$

図12 ループアンテナからの電磁波

##### ・計算例1

$S = 10 \text{ cm}^2$   $f = 100 \text{ MHz}$   $I = 10 \text{ mA}$  の場合アンテナから 10m の位置の電界強度は (5) 式から、  
 $132 \mu \text{ V/m} (= 42.3 \text{ dB } \mu \text{ V/m})$  になる ( $\theta = 90^\circ$  の場合)。

##### ・微小ダイポールの場合



微小ダイポールから r の距離の電界強度  $E_{\theta}$

$$E_{\theta} = j Z_0 I L / 2 \lambda r \left\{ 1 - j \lambda / 2 \pi r - (\lambda / 2 \pi r)^2 \right\} \sin \theta \quad (6)$$

$E_r = 0$   
 但し、 $I$ : 電流、 $L$ : 長さ、 $r$ : アンテナからの距離、 $\lambda$ : 波長  
 $Z_0$ : 空間インピーダンス  
 $Z_0 = E/H = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 120 \pi \cong 377 \Omega$   
 $r / \lambda \gg 1$  となる遠方界の場合、近傍界の第 2, 3 項は減少し、第 1 項のみ残り (21) 式で表せる  
 $|E_{\theta}| = Z_0 I L / 2 \lambda r \quad (\theta = 90^\circ \text{ の場合}) \quad (22)$

図13 微小ダイポールからの電磁波

##### ・計算例2

長さ  $L = 10 \text{ cm}$ 、電流  $I = 10 \text{ mA}$ 、 $f = 100 \text{ MHz}$  とした場合のアンテナから 10m 地点での電界強度は (6) 式より、 $6300 \mu \text{ V}$  (約  $76 \text{ dB } \mu \text{ V/m}$ ) になる。

## 2-4 電磁波の基礎知識

最近のデジタル機器では、クロックの高速・高周波化がなされている。このため IC 素子のパルス波形では、立ち上がり・立ち下がり時間が早く多くの高周波成分が含まれて来ているため、EMC 問題を考える時にこれら電磁波と高周波について理解することが、大切になる。

(1) 電磁波を考える場合は、常に周波数と波長を明確にして考える必要がある。この理由としては、電磁波は波長と適合した導体の長さ(、 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 等)で強く発生する傾向があるためである。

- ・周波数と波長の関係式

$$c = f \cdot \lambda \quad (7)$$

f : 周波数、 $\lambda$  : 波長

c : 光速  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$

< 例題 1 >

- (a) 携帯電話機の周波数を 2.45GHz とした時の波長の計算を行う。

上の(7)式から

$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 2.45 \times 10^9 = 0.122 \text{ m}$$

となる。これを携帯電話機のアンテナと比較して見ると良い。

- (b) 波長を 1m とした時の周波数の計算を行う。

$$f = c / \lambda = 3 \times 10^8 / 1 = 300 \text{ MHz}$$

- ・電磁波の発生・妨害は共振現象の現れとも考えられる。音叉と共鳴箱について考えると分かり安い。

音波も共鳴現象を生じたり、定在波が立つ所は電磁波と似ているが、電磁波と異なり伝播媒体が必要で疎密波である。

音速は 341m/s であるが媒質、温度などで変化する。

(2) 電磁ノイズの基本量と単位

- ・電界強度：単位は V/m で表される。(山の等高線と同様の考え方)

通常は  $1 \mu\text{V/m}$  を 0 dB とする対数表示 (dB  $\mu\text{V/m}$ ) で表される。

$$\text{dB } \mu\text{V/m} = 20 \log(E/E_0) \quad E_0 = 1 \mu\text{V/m}$$

- ・磁界強度：単位は A/m で表される。

通常はテスラー (T)、ガウス (Gauss) で表示することが多い

$$1 \text{ A/m} \quad 1.2 \mu\text{T} = 12 \text{ mGauss} \quad 1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gauss}$$

- ・電力量：1mW を基準としたデシベルで表される。(0dBm = 1mW)

$$\text{dBm} = 10 \log(P/P_0) \quad P_0 = 1\text{mW}$$

< 例題 2 >

- (a) 1  $\mu\text{V}$  を基準としたものが 0dB  $\mu\text{V}$  であるから、1mV は何 dB  $\mu\text{V}$  か。

$$20 \log(1\text{mV} / 1\mu\text{V}) = 60\text{dB } \mu\text{V} \text{ となる}$$

- (b) 0dBm は何 dB  $\mu\text{V}$  になるか単位の変換を行いなさい。

単位量の変換を考える。0dBm は 1mW、入力インピーダンスを 50  $\Omega$  とすれば、  
 $P=V^2/R$  の関係から

$$V^2 = P \cdot R = 0.05\text{V}$$

これより  $V=0.2236\text{V}$  となる。これを dB  $\mu\text{V}$  で表すと

$$20 \log(223.6\text{mV} / 1\mu\text{V}) = 107\text{dB } \mu\text{V}$$

となる。

(3) 電磁ノイズの種類

(a)人工ノイズ

TV、ラジオ、無線機器等の送信電波、家電機器からのノイズや電力線、自動車、鉄道等からのノイズなど

(b)自然ノイズ

雷、静電気放電、太陽雑音、熱雑音などのノイズ

(c)狭帯域ノイズ：周波数帯域の狭いノイズ(クロックノイズ等)

(d)広帯域ノイズ：周波数帯域の広いノイズ(ホワイトノイズ、SW 電源のノイズ等)

電波は人類の公共財産と言われている。これら電磁波の活用例を電磁波の周波数と使われ方から表1にまとめた。

表1 電磁波の周波数とその使われ方

名 称		周 波 数 範 囲 (波長 = $c/f$ , $c$ :光速)	主 な 用 途	
ULF	超超長波	0.03 ~ 3Hz $10^7 \sim 10^5$ km		
ELF		3 ~ 3000Hz $10^5 \sim 100$ km	家庭電器製品、高圧送電線 電力線通信	
VLF		3 ~ 30KHz 100 ~ 10km	電磁調理器、IH ジャー IH 炊飯器、IH 湯沸かし器	
LF	長波	30 ~ 300KHz 10 ~ 1km	気象通報、(電力線通信)	
MF	中波	300 ~ 3000KHz 1000 ~ 100m	ラジオ放送、船舶、航空機の通信	
HF	短波	3 ~ 30MHz 100 ~ 10m	短波放送、国際放送、国際通信、電 気通信事業、警察・海上保安・船舶 及び航空機の通信、市民ラジオ、ア マチュア無線	
VHF	超短波	30 ~ 300MHz 10 ~ 1m	TV 放送、FM 放送、国際海上無線電話、 ポケットベル、アマチュア無線	
UHF	極超短波	300 ~ 3000MHz 100 ~ 1cm	TV 放送、電気通信事業、携帯電話、 タクシー無線、列車公衆無線、自動 車電話、航空機公衆電話、航空・気 象用レーダー、衛星通信、気象衛星、 電子レンジ、GPS (ブルートゥース機器、無線 LAN)	
SHF	センチ波	マイクロ波	電気通信事業用マイクロウエーブ中 継、航空・船舶・気象用レーダー、 電波高度計、スピードメーター、衛 星放送、(UWB)  各種レーダー  (無線 LAN、BS デジタル)	
EHF	ミリ波			3 ~ 30GHz 10 ~ 1cm
	サブミリ波			300 ~ 3000GHz 1 ~ 0.1mm
	テラヘルツ波	1 ~ 1000THz 300 ~ 3 $\mu$ m	未踏領域 (計測、画像認識)	
光領域	赤外線 可視光線 紫外線 X、線	0.77 $\mu$ m  0.38 $\mu$ m 100 ~ 1	各種レーザー、DVD、MD 光通信、光ファイバー、光素子 医療機器	

\* マイクロ波は波長が  $\mu$ m ではないことに注意

## 2-5 伝送回路 (EMC のための伝送回路基礎知識)

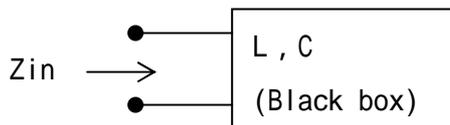
### 2-5-1 集中定数回路

#### (1) 集中定数回路の例

- ・ 2 端子回路網の例 : L、C、並列共振回路、直列共振回路、水晶発振子
- ・ 4 端子回路網の例 : L 型、T 型、 $\pi$  型、定 K フィルタ、整合回路(インピーダンスマッチング) フィルターは入出力インピーダンスとの関係を考慮することが重要、またカットオフ周波数(遮断周波数)、6dB/oct(1 段 20db/decade)、12dB/oct(2 段 40db/decade)等の特性を見る。

#### (2) 2 端子回路網のインピーダンス

- ・ リアクタンス定理 : L、C からなる回路のインピーダンス  $Z_{in}$  は、どんな複雑な回路でも下記の 4 つのタイプのみである。但し、R が入ると計算は難しくなる。



$$Z_{in}(j\omega) = jF_1(\omega)/F_2(\omega)$$

$Z_{in}$  : リアクタンス関数

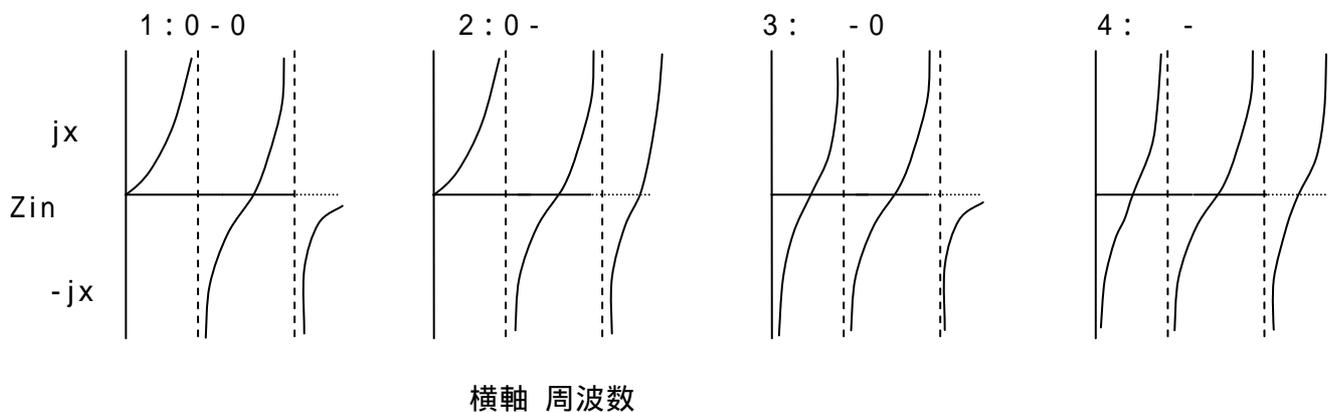


図 14 2 端子回路網のインピーダンス

#### (3) 鳳 - テブナンの定理

- ・  $Z_L$  を切り離れた時の開放電圧を  $e_0$ 、 $Z_L$  をつないだ時の電圧を  $e_L$ 、このときの電流を  $I_L$  とすると、ブラックボックスは、電圧源を  $e_0$ 、内部インピーダンスを  $Z_s = (e_0 - Z_L \cdot I_L) / I_L$  とした回路であらわせる。
- ・  $Z_s$  が小さくないことが分かっている場合は、 $Z_L = 0$  として  $I_L$  を測定すれば未知のど

んな複雑な回路でも，図 15 の右のような簡単な等価回路で表すことが出来る。

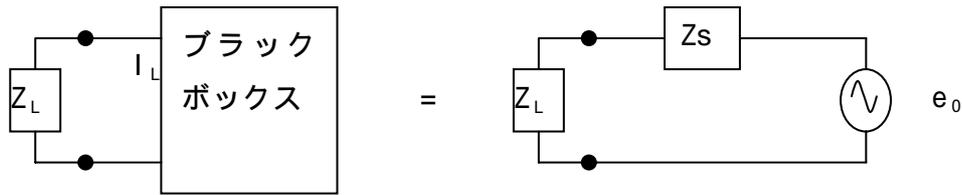
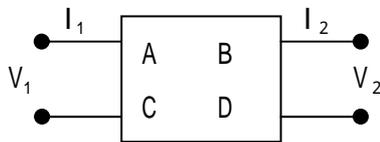


図 15 鳳 - テブナンの定理

(4) 4 端子回路網

・ 4 端子定数

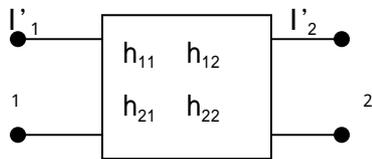


$$\left. \begin{aligned} V_1 &= AV_2 + BI_2 \\ I_1 &= CV_2 + DI_2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(A, B, C, D : 4 端子定数)

図 16 4 端子回路網の表し方

・ 例 1 : h パラメータは，トランジスタの内部等価回路を表すのに用いられる。



$$\left. \begin{aligned} V_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \\ I_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}V_2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$h_{11} = V_1 / I_1 (V_2=0)$  : 入力インピーダンス  
 $h_{12} = V_1 / V_2 (I_1=0)$  : 電圧増幅率の逆数  
 $H_{21} = I_2 / I_1 (V_2=0)$  : 電流増幅率  
 $H_{22} = I_2 / V_2 (I_1=0)$  : 出力アドミタンス

図 17 h パラメータの表し方

- ・ 高周波性能指数(トランジション周波数) :  $f_T$  ( $\beta = 1$  となる周波数)
  - ・ A を求めるには、 $I_2$  を 0(負荷開放)、B を求めるには  $V_2$  を 0(負荷短絡)として測定する。
  - ・ 測定は出力端の短絡，開放での測定が必要なため，高周波になると測定が困難になる。また，能動素子の場合，端子の短絡は出来ない場合がある。
- このような場合に S パラメータが用いられる。

- ・ 例 2 : S パラメータは回路網への入出力、反射、透過信号で特性を表すパラメータ



$S_{11}$ : 入力反射係数  $S_{21}$ : 順方向伝送係数  $S_{22}$ : 出力反射係数  $S_{12}$ : 逆方向伝送係数

図 18 S パラメータの表し方

- ・ 上式より,  $S_{12}=0$  (整合負荷) とすることで,  $S_{11} = \frac{v_1'}{v_1}$  が測定出来る。負荷短絡、開放の必要がなく、電圧だけの測定で良いので、高周波での測定が容易であり、高周波設計で用いられる。

- ・ 特性インピーダンス  $Z_0$  が分かれば,  $S_{11}$  を測定することで入力インピーダンス  $Z_{in}$  が下式より求められる。

$$Z_{in} = \frac{(1+S_{11}) \cdot Z_0}{(1-S_{11})} \quad (10)$$

- ・ クロック信号線路の入力インピーダンス, 電源ラインのインピーダンス測定等で良く使われる

### 2-5-2 分布定数回路

- ・ 数 MHz 以上の周波数は分布定数で考える必要がある, 最近ではクロック周波数が高いため, プリント配線パターンは分布定数として考えることが必要となって来ている。

図 19 に分布定数線路の概念図と図 20 に伝送線路方程式を示す。

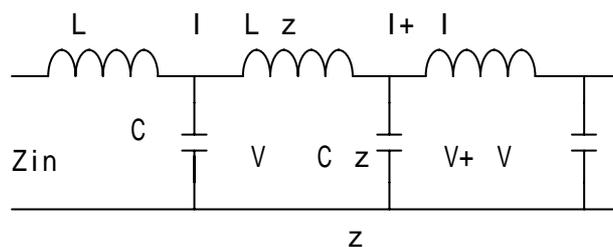


図 19 分布定数線路(無損失の場合)

伝送線路方程式

キルヒホッフの法則より下式が求められる

$$\left. \begin{aligned} \partial V / \partial z &= -L \partial I / \partial t \\ \partial I / \partial z &= -C \partial V / \partial t \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

上式より，下の伝送線路方程式(波動方程式)が求まる

$$\left. \begin{aligned} \partial^2 V / \partial z^2 &= LC \partial^2 V / \partial t^2 \\ \partial^2 I / \partial z^2 &= LC \partial^2 I / \partial t^2 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

これより，

$$V(z) = V_1 e^{-\gamma z} + V_2 e^{\gamma z} \quad (13)$$

$$I(z) = (1/Z_0)(V_1 e^{-\gamma z} - V_2 e^{\gamma z})$$

$V_1, V_2$  は積分定数

$$\text{特性インピーダンス: } Z_0 = \sqrt{(R + j\omega L)/(G + j\omega C)} \quad (14)$$

$$\text{伝搬定数: } \gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (15)$$

$$\text{減衰定数: } \alpha = (1/2)(R\sqrt{C/L} + G\sqrt{L/C}) \quad (16)$$

$$\text{位相定数: } \beta = \omega\sqrt{LC} \quad (17) \quad \text{無損失の場合 } R, G = 0$$

図 20 伝送線路方程式

・無損失と有損失伝送線路

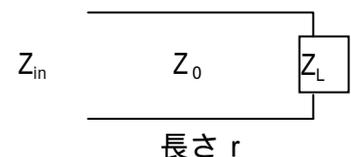
1GHz 程度の伝送線路であれば、線路損失を無視できるが、これ以上の周波数では、伝送線路の損失を考える必要がる。 $R=0$ 、 $G=0$  の場合は無損失伝送線路となる。  
( $R:L$  に直列の抵抗、 $G:C$  に並列の抵抗)

・伝送線路は固有の特性インピーダンス

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \text{ を持つ}$$

・長さが  $r$  の伝送線に，負荷インピーダンス  $Z_L$  が接続された伝送線の入力インピーダンス  $Z_{in}$  は下の (18) 式で表される。

$$Z_{in} = Z_0(Z_L + jZ_0 \tan \beta r)/(Z_0 + jZ_L \tan \beta r) \quad (18)$$



- ・定在波：インピーダンス整合が出来てない伝送線路には定在波が発生し、EMI の要因となる。定在波の度合いは反射係数（ガンマ）で表される。

伝送線路の終端インピーダンスを  $Z_L$  とすると、反射係数は  $V_1$  と  $V_2$  の比として、(19) 式で表される。ここで、 $V_1$  は進行波、 $V_2$  は反射波を表している。

$$\Gamma = V_2/V_1 = (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0) \quad (19)$$

(19) 式から、伝送線路が終端整合 ( $Z_L = Z_0$ ) された時は  $\Gamma = 0$  となり反射波が発生せず、短絡 ( $Z_0 = 0$ ) の場合は  $\Gamma = 1$  となって進行波と反射波が等しくなり、定在波が立った状態となる。

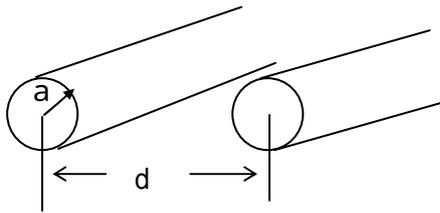
$Z_0 = 0$  でなくても、 $Z_L = Z_0$  の場合には反射波が発生する。

同様の表し方として SWR (定在波比) がある。

$$SWR = V_{max} / V_{min} = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|)$$

### 2-5-3 各種伝送線路の例と特性インピーダンス

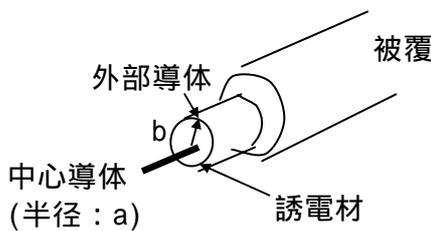
#### (1) 平行2線



$$Z_0 = (276 / \sqrt{\epsilon_r}) \log d/a \quad [ \Omega ] \quad (20)$$

図21 平行2線 (レッヘル線)

#### (2) 同軸ケーブル



$$Z_0 = (138 / \sqrt{\epsilon_r}) \log b/a \quad [ \Omega ] \quad (21)$$

$a$  : 中心導体半径,  $b$  : 外部導体半径  
 $\epsilon_r$  : 誘電材の比誘電率

- ・同軸ケーブルの表し方

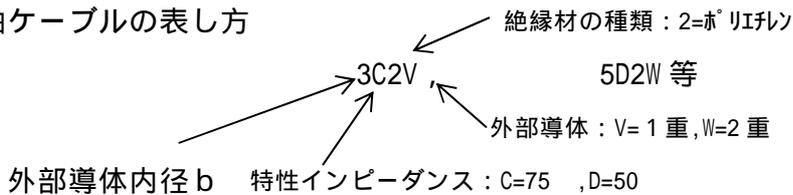
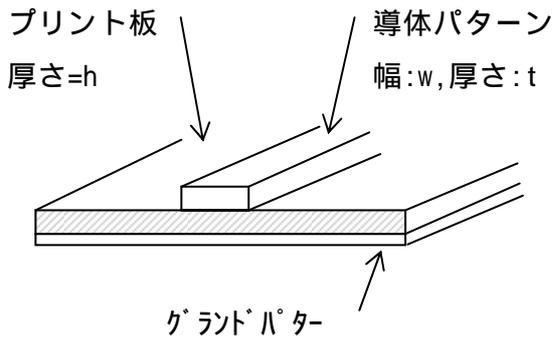


図22 同軸ケーブル

(3) プリント基板上の伝送線路



$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \ln \left( \frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad (22)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + 10h/w} \quad (23)$$

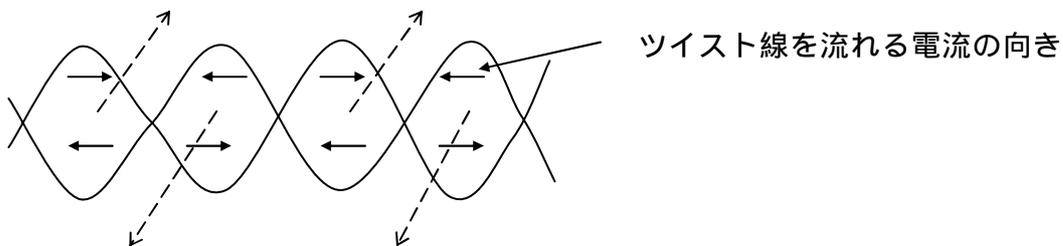
但し  $w/h \geq 1$   $\epsilon_r$ : 基板の比誘電率

図 23 マイクロストリップ線路

- ・ クロックパターンの配線法として、等長配線、一筆書き、等長分岐などがあるが、正確な波形の伝送を行うには、その入力インピーダンスを考慮して設計を行う。

(4) ツイストペア線

- ・ 何故、ツイストにするか。

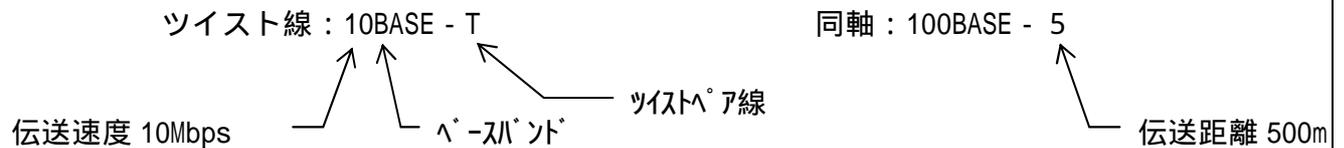


電流によって発生する磁界が、交互に逆向きとなって打ち消し合う

図 24 ツイストペア線 (平行線をより合わせノイズに強くする)

その他の伝送線路の例

- ・ LAN ケーブル



- ・ ADSL : 電話線(平行線)のままで高速化を実現 , 伝送速度 1.5 ~ 8Mbps  
(ADSL : Asynchronous Digital Subscriber Line 非対称の電話加入者線)

- ・ USB(Universal Serial Bus)ケーブル : 差動平衡線路によるシリアル伝送線路  
伝送速度 USB1.0:12Mbps    USB2.0:480Mbps

- ・ RDRAM : 米 Rambus 社によって開発された高速 DRAM 信号技術  
分布定数回路の考え方と整合回路を取り入れ , クロック周波数 500MHz まで対応可能 ,  
伝送速度 1.6Gbps(データ・バス 16bit の場合)

実習 1 : L、C の高周波における等価回路、直並列共振回路

ラインフィルタの整合インピーダンスがずれた時の特性 , 定K フィルター特性

実習 2 : 伝送線路シミュレーション

どのランプが一番先に点灯するか

負荷短絡、オープン、整合時の伝送線入力端インピーダンス

集中定数素子による分布定数回路シミュレーション , 伝送線路波形シミュレーション、特性インピーダンス、遅延時間、終端インピーダンスの変化による特性の違い

実習 3 : 各伝送線路の特性インピーダンスの計算

平行線、同軸線路の特性インピーダンス

プリント基板の特性インピーダンス (  $h=0.8\text{mm}$ 、線路幅  $1\text{mm}$ 、 $\epsilon_r=4.5$  の場合 )

### 第3章 EMC 設計について

近年の電磁環境問題が取り上げられる中で、国際的規格が決められ、電子機器は本来の性能を出しながら、他の機器に妨害を与えず、また他の機器からの妨害を受けないようにしなければならない。このためノイズとなる発生源に前もって対策することや妨害を受けても十分に機能を維持できるような電子機器設計がなされていなければならない。ここでは、電子機器の EMC 設計について考える。

#### 3.1 日本の現状

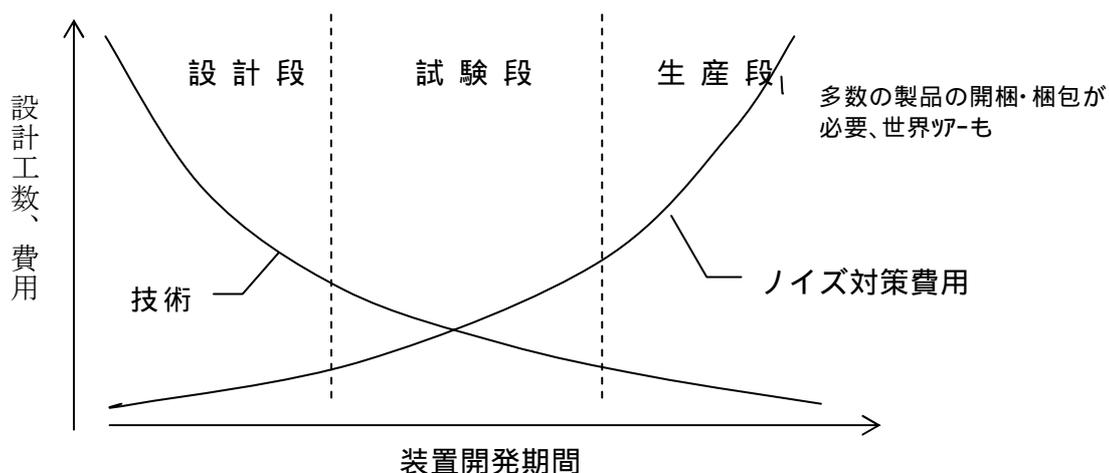
- ・デジタル技術者：ソフト、ロジック回路を得意とする若者(アナログに弱い)
- ・アナログ技術者：オーディオ AMP、高周波回路が得意な年代(デジタルに弱い)

昔は鉱石ラジオ、オーディオアンプ、TV の組立、ラジオ少年などハードの中身が身をもって体験し理解できた。現代では、ファミコン、ゲーム、パソコンの時代で、ハードはブラックボックスとして取り扱っている。

電子機器の動作速度が上がり、クロック周波数が高周波化された今日では、デジタルとアナログの両方の技術を保有する技術者が必要になっている。高周波化した電子機器からの不要電波放出を考える上では、EMC に関する下記のような項目について考慮する必要がある。

- ・背景：電磁妨害を環境問題、社会問題として認識すること。
- ・電磁ノイズの法規制の整備が進行し、EMC に関する IEC 規格が制定されていることを十分認識すること。
- ・電子機器製品は EMI、EMS に関する法規制をクリアする必要があること。

電子機器製品の設計工数とノイズ対策費用の関係を図 25 に示す。また EMC 設計を考慮した電子機器の製品化の流れを図 26 に示す。



(資料：電子機器の製品化の流れより)

図 25 電子機器製品の設計ルーチンと EMC 設計について

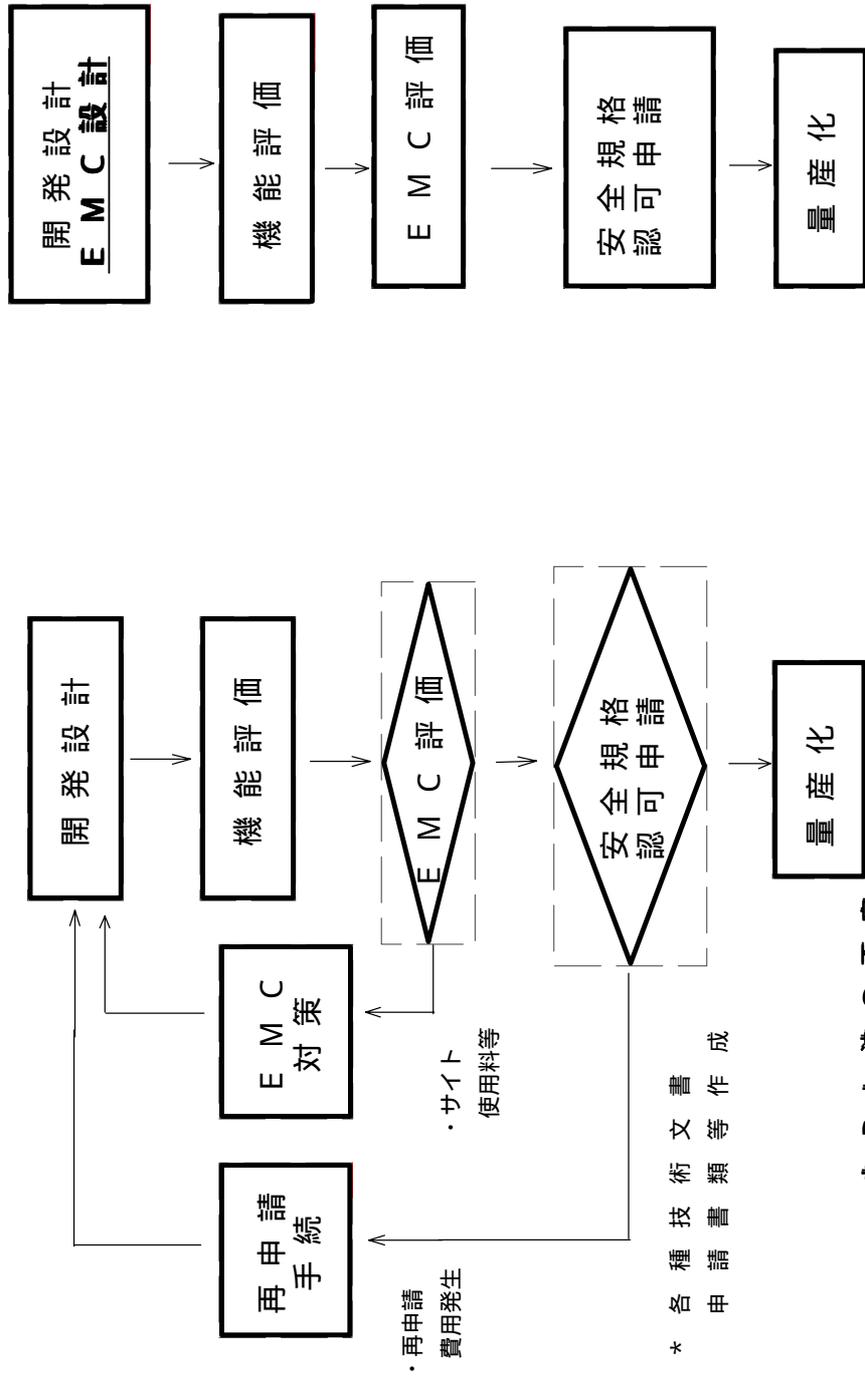


図26 電子機器製品の設計ルーチンとEMC設計について

### 3.2 EMC に関する研究動向（これは '01 年当時の状況であり毎年変化している）

- ・企業の動向

各企業での EMC に関する研究所、組織が設立されている。

EMC 研究を行っている企業例

NEC：資源環境技術研究所 EMC 室、日本 IBM：EMC 技術開発、

富士ゼロックス EC 開発室、沖電気、富士通 他

しかし、企業では、規制値をクリアするための対策手法の開発が主で電磁ノイズの原理的な発生要因からの詰めは弱いと言われている。

- ・大学 / 研究機関の動向

電磁ノイズを研究している大学、研究所 / 教授例

イトケン研究所：伊藤健一 岡山大：和田修己 拓殖大：渋谷昇

東京農工大：仁田周一 東京理科大：越路耕二 九州工大：徳田正満

東北学院大：佐藤利三郎 環境電磁研究所設立、GHz 帯での電磁ノイズに関して

'95 から約 5 年間研究を実施した、東北リコーでも研究員派遣

- ・学会における主な EMC 関連の研究会

電子情報通信学会「環境電磁工学研究会」EMCJ

'03 年論文特集：最新の EMC 技術論文特集 2003.VOL.J86.-B, No.7

電気学会「ノイズ対策技術調査専門委員会」

'03 年論文特集：電子機器のノイズ対策特集 2003.Vol.123, No.7

エレクトロニクス実装学会「電磁特性技術委員会」

- ・学会における研究発表事例数が増加（'94 ~ '95 電子情報通信学会）

学会発表 '94 環境電磁工学研究会 大学 46 件、企業 29 件

'95 総合大会（環境電磁工学セッション）大学 26 件、企業 26 件

セミナー EMC 対策セミナー講師 企業 80%、聴講者も企業が 95%

理論発表は殆どが大学。

企業では即効性のある対策技術を求めているが、EMC の基本的な研究についても同時に進めることが必要。

- ・単なる対策は砂上の楼閣、今後は理論に則した EMC の対策、設計が必要な時代

環境電磁工学が新たな学問分野として認知

## 第4章 EMCに関する国際法規制

### 4-1 EMC規格、規制の概要

情報の高度化に伴い、電子機器や無線機器から放出される電磁波は、これまでには考えられないような電磁環境の悪化を招いている。

これを防ぐための国際基準が整備され、規制が行われている。ここではこの電磁環境問題に関する国際規制について述べる。

#### 4-1-1 国際規格、各国規格、地域規格

図27に国際規格、各国規格、地域規格を示す。

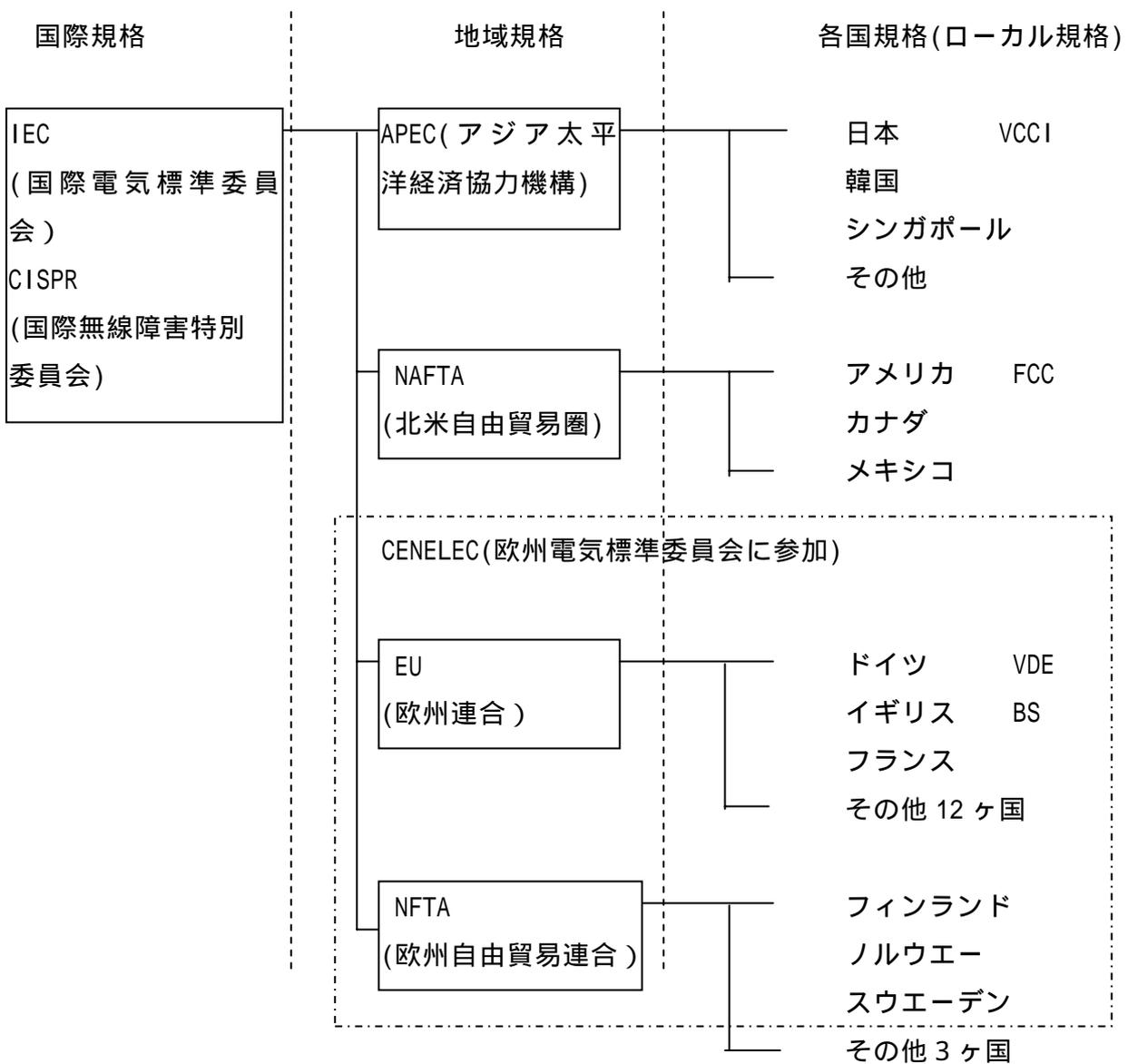


図27 国際規格と各国の規格、地域規格

IEC : International Electrotechnical Committee

CISPR : Comite International Special des Perturbations Radioelectrique

CENELEC : Commit European Normalisation Electrotechnique

- ・ IEC (国際電気標準委員会)

電気・電子全般にわたる国際規格の作成を目的として 1904 年に設立された委員会で、現在 43 ヶ国が参加しており、各技術分野毎に、83 の専門技術委員会 (TC: Technical Committees) がある、このうち電磁波に関する専門委員会として、TC77 と CISPR がある。

- ・ IEC の EMC に関する規格は IEC61000

- ・ TC の下に、約 120 の分化委員会 (SC: Sub Committees) があり、TC77 に関する SC には、下記の 3 つがあり基本規格、共通規格を中心にした制改訂を行う。

SC77A : 9kHz 以下の低周波数の EMC 問題

SC77B : 9kHz 以上の高周波 EMC 問題

SC77C : 核爆発電磁パルス用イミュニティ

- ・ CISPR も以前は、独立の組織であったが 1956 年に TC 委員会の一部として組み込まれ、製品分野毎の個別規格、並びに測定に関する規格の制改訂を行う。7 つの SC と、下部組織である WG がある。

無線障害に関する規格は CISPR Pub.22 (Publication: 公報)

- ・ EN (European Norm) 規格 欧州規格

IEC 規格を CENELEC が審議して EN 規格を作成。

電磁妨害に関する規格は EN50000 番、EN60000 番台、このうち ITE に関する規格は EN55022

- ・ WTO (世界貿易機構) では各国規格の整合性をはかるため、各国の国内規格を原則として国際規格に整合 (ハーモナイズ) させることを勧告している。

但し、各国の事情を規制に反映させることは認められる (デビエーション)。

#### 4-1-2 EMC に関する規格体系

製品に対する EMC の規格体型としては、図 28 のように基本規格と共通規格、製品群規格とに分類されている。

- ・ 基本規格 (Basic) 共通規格では、製品群規格 製品規格に分けられる。
- ・ 製品に適用する場合は、下位のものが優先順位が高い。



図 28 基本規格と共通規格

- ・製品のクラス分けについて  
住宅地域で使用される製品 クラス B  
商業地域で使用される製品 クラス A クラス B の方が 10dB 規格が厳しい
- ・ITE(Information Technology Equipment) 情報技術機器
- ・ISM(Industry Scientific Medical)機器：産業科学医療機器

#### 4-1-3 各国の法規制概要

- ・法規制か自主規制かは各国の政策によって決められる。

##### (1) 日本の場合

かつては電気用品取締法であったが、現在はVCCI、CISPR22を受けた郵政省の答申をVCCI規格としている。

VCCI (情報処理装置等電波障害自主規制協議会)

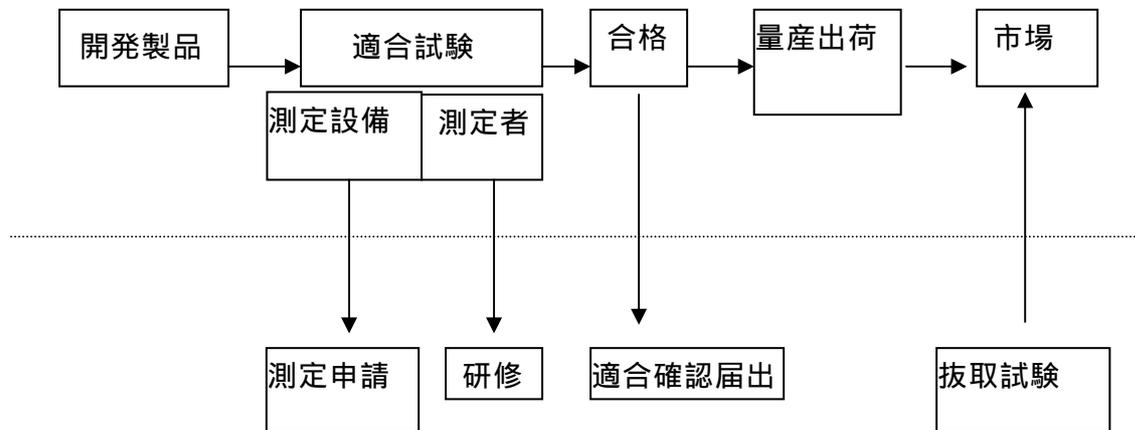
(Voluntary Control Council for Interference by Information Technology Equipment)

日本の場合他国のような法規制とは異なり、VCCIによる自主規制の形態、企業会員による自主組織 930社、その内海外が40%、世界的に日本の規制として認知されている。(’01

年状況)

- ・ VCCI 適合試験の概要を図 29 に示す。

上側がメーカー試験、下側が VCCI への申請



認定品には VCCI のマークが添付される

図 29 日本での VCCI 適合試験

#### (2) 米国の場合

- ・ 従来からの FCC (連邦通信委員会) 規制と新しい CISPR22 を併用、当面いづれかをパスすれば良い

#### (3) 欧州の場合

- ・ 以前は独自の FTZ、スエーデンの SEMKO、デンマークの DEMKO 等、国毎に独自の規格であったが、EN 規格に統一化の方向である。

1996 年より 1 月 1 日より欧州指令として発効、適合品には CE マーク添付している。

#### (4) その他の国

台湾：'98.1.1 より規制開始 台湾内の認定試験所での適合試験が義務づけられた

韓国：'97 年より CISPR 相当規格、'00 年にイミュニティ規格が発行

中国：CISPR22 に基づく規制開始が予定

#### 【相互認証制度について】

- ・ 相互認証制度とは、国内の測定設備で認証を受ければ他の国に輸出出来る制度。
- ・ 実際に電子機器を輸出する際には、各国の規制をクリアする必要がある。このために

は、輸出先に出向き、その国が指定した測定施設で認証を受ける必要がある。

- ・欧州と米国の場合は国内の測定設備での認証も可能であるが、それ以外の国では相互認証制度が確立されていない。

<参考資料> 日経エレクトロニクス '97.11.3 p.128

法規制参考用語（広辞苑）

【諮問】意見を尋ね求めること。下の者や識者の意見を求めること。

【答申】上司の問に答えて意見を申し述べること。

特に、諮問機関からの行政官庁に対する意見の具申。

【批准】臣下の奏上する文書・事柄に対し、君主が可否を決して裁許すること。

〔法〕(ratification) 全権委員が署名した条約を、当該国家において憲法上条約締結権限を与えられた者が確認し同意すること。

## 4-2 ITE 機器における代表的測定法

### 4-2-1 不要輻射規制と測定法

- ・機器から空間に発生する電磁放射に対して、周波数 30 ~ 1000MHz での限度値が決められている。
- ・10m法：機器と受信アンテナの距離を 10mとして測定する方法。
- ・3m法： " 3mとし、通常電波暗室で測定。
- ・EMI サイト：上記の測定場所のこと、屋外で測定を行うオープンサイトと屋内で行う電波暗室がある。
- ・サイトアッテネーション：規定された方法以外でもサイトアッテネーション（EMI 測定場の電氣的減衰特性）の相関が取れば測定可能。

### 4-2-2 雑音端子電圧と測定法

- ・機器から電源線を伝わり、外部に出る周波数 150KHz ~ 30MHz 伝導ノイズの規制。
- ・測定は電源インピーダンスを一定とする疑似電源回路網を機器と AC ライン間に挿入して行う。（疑似電源回路網 LISN : Line Stabilization Network）
- ・最近の機器は殆どがスイッチング電源であり、これから発生するノイズを規制するものと考えて良いが、機器によってはクロック信号が伝導ノイズとして漏れ出る場合もある。

### 4-2-3 高調波電流規制と測定法

- ・ ACラインに流出する40次までの高調波電流が規制される。
- ・ 定格75～600Wの機器に対する規制。
- ・ 機器によりクラスが分けられており、クラスによって規制値が異なる
  - クラスA：平衡三相機器及び下記以外の全ての機器
  - クラスB：携帯工具
  - クラスC：照明機器、調光器を含む
  - クラスD：入力電流の包絡形状で判定

### 4-3 EMS 規制（イミュニティ）

- ・ 電磁波に対する耐性の規格は、IEC61000 - 4として12の規格があり、下記のものが増えられる。

#### （1）静電気放電：IEC-61000-4-2

- ・ 機器に静電気を与えて誤動作しないかをテストするもの。
- ・ 機器に静電プローブで直接静電気を与える直接放電(2～8kV)と、間接的に与える間接放電(2～15kV)がある。

#### （2）放射電磁界：IEC-61000-4-3

- ・ 周波数80～1000MHzの電磁波を機器に照射して誤動作しないかをテストする。
- ・ 照射する電磁波は1kHzによる80%振幅変調波で距離は3mで行う。

#### （3）電気的高速過渡バースト試験：IEC61000-4-4

- ・ 電源線と信号線にパルス幅50ns、繰り返し周波数5kHzのバースト信号を与える。

#### （4）サージイミュニティ試験：IEC-61000-4-5

- ・ 雷のような大きなエネルギーを模擬したパルスを与えるテスト

#### （5）伝導性イミュニティ試験：IEC61000-4-6

- ・ 周波数150kHz～230MHzの伝導性妨害波を注入するテスト

#### （6）電源周波数磁界試験：IEC61000-4-8

- ・ 電源周波数の磁界を誘導コイルで与えるテスト

#### （7）電圧低下及び瞬断：IEC61000-4-11

- ・ ACラインの電源が変動、及び瞬断(100%/0.5,1周期)した場合のテスト。

### 4-4 LSI 評価法

- ・ 現状では、EMIの要因となるLSI自体のEMIを評価する方法は明確になっていない、このため各種の測定評価方法が各国よりIECに提案されている。

#### （1）VDEメソッド

基板のグラウンドとLSIの電源端子間に電流評価用の基準抵抗(1 )を挿入し、その

高調波電流から評価する。

(2) 電磁プローブ

電磁プローブで LSI 近傍の電磁界を測定して評価。

(3) ファラデーケージ

金属箱の中の床面 30mm上に LSI を乗せた評価基板を置き、その時発生するコモンモードノイズを測定して評価。電磁シールド設備不要。

(4) TEM セル

小型 TEM セルに LSI を置き、その中に発生する電磁界を相対評価。電磁シールド設備不要。

TEM セル：同軸ケーブルの外側を大きくしたもの

【TEM】Transverse Electro Magnetic Wave：電界、および磁界が進行方向に直角で進行方向成分を持たない波、同軸線路、ストリップ線路上の電磁波。

参考文献：中村篤「半導体パッケージの EMI 評価」エレクトロニクス実装学会, Vol.1, No.6('98)、p.446-450

#### 4-5 人体に関する規制

電磁波の人体への影響がどのようなものかは、現時点では確立されているとは云えないが、電磁波を利用する機器の増加に伴い、その可能性も無視出来ない状況となっていることから、SAR などの人体への規制も新たに制定される動きになっている。

参考文献：例えば、多気昌生著「人体吸収 SAR と ICNIRP による電磁界規制案について」スピニクス研究会資料 98-3-4 など

- ・電磁波の生体への影響に関する指針として、ICNIRP（国際非電離放射線防護委員会）防護指針がある。（'94年作成）

ICNIRP(International Commission on Nonionizing Radiation)は1992年に、非電離放射線からの人体防護を推進するために設立された国際委員会。

WHO(世界保健機関)及び国際労働機関(ILO)に認証された非政府機関。

当初、欧州規格 ENV50166 が作られたが、人体に関するものであるため公式決定されず、ICNIRP 指針に沿う方向（300～3000MHz の電磁波は非電離領域）

## 防護指針内容

電磁波には熱作用と非熱作用があり、指針は熱作用を主としたものである。

### ・熱作用を主とした規制指針

#### (イ) 基本制限(Basic Restrictions)

生体影響に係る電磁波曝露量で表された指針

人体内部に生じる誘導電流密度を規定

SAR ( Specific Absorption Rate ) 単位重量の組織当たりで吸収される電力で、その推定技術はドシメトリーと呼ばれる。

生体への電磁波の吸収度 SAR は、2002 年 6 月 1 日より携帯電話への規制が開始された。規制値 ex. : 一般環境 全身 0.08W/kg、局所 2W/kg

#### (ロ) 参考レベル(Reference Levels)

最悪となる曝露条件を想定した指針、過剰に安全側の数値

### ・非熱作用

発熱を伴わない電磁波の人体への影響で、生体膜への影響、細胞増殖や形質転換や発ガン及びガンの促進、DNA への影響、細胞内の伝達への影響などが考えられ疫学研究などによる研究が進められている。

これらは、存在自体が数 10 年来争点となっている未決着の問題。

参考文献の 900MHz、1.5MHz の電磁波曝露による実験でも、発ガン等の影響はなかったとしている。

他の実験でも現状では明確な結論が出ていない状況。

【疫学】疫病、事故、健康状態について、地域・職域などの多数集団を対象とし、その原因や発生条件を統計的に明らかにする学問。

## 第5章 高周波電子機器とEMC

### 5-1 高周波化されるITE（情報処理装置）

近年の電子機器はデジタル化が進んできており、さらに動作周波数も高周波化してきている。このような電子機器では外部に放射する電磁ノイズに特に注意する必要がある、また外部に放出しないようにするためのノイズ対策を行わなければ、輸出出来ない環境になっている。

ここでは、デジタルコピー機の基本構成と動作原理、コピー機から発生するノイズ。またコピー機に使用されているスイッチング電源について述べる。

#### (1) デジタルコピー機の構成と動作原理

- ・コピー機は、PPC(Plain Paper Copier)とも呼ばれるが、情報処理能力の向上のため、そのクロック周波数は従来の数10MHzから、100MHz以上へと高くなっている。
- ・PPCは静電気の現象を利用していることから静電複写方式(1930年代米Chester Carlsonにより発明された 米 Xerox社)とも呼ばれ、画像読み取り部(スキャナー部)、画像処理部、帯電、現像、転写、定着プロセスなどから構成される。
- ・この内、画像処理部などは大きな放射ノイズ発生源の一つとなっている。
- ・PPCの動向

以前は、アナログ機が主流であったが、近年では、デジタル的に画像を処理するデジタル機となっている、また、同様の原理が、ページプリンタ、FAX等にも使われている。図30にデジタルコピー機の構成図を示す。

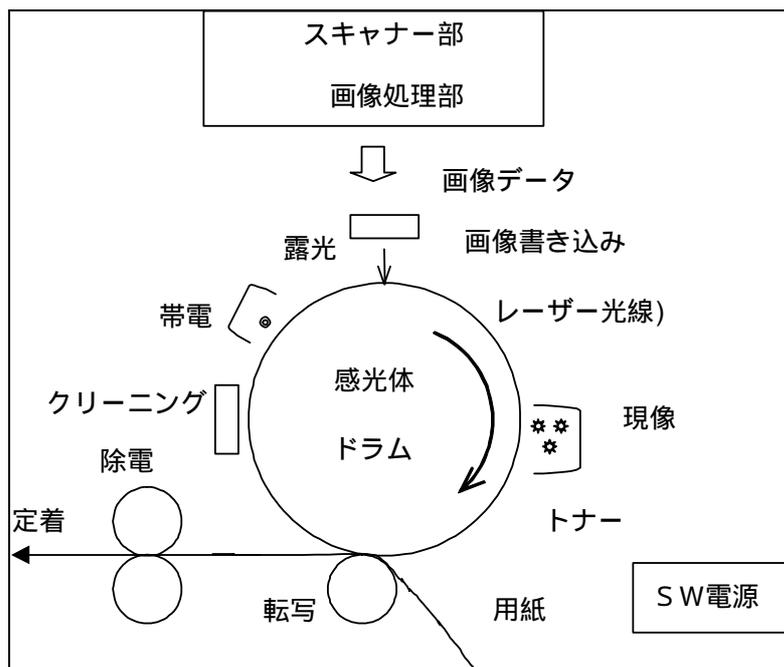


図30 デジタルコピー機の構成図

- ・ PPC はネットワークの一つの構成となりつつある（デジタル印刷機も同様）
- ・ コピー機、デジタル印刷機において、プリント実装基板、SW 電源等が主要なノイズ発生源となる
- ・ さらにそのもととなるノイズ発生要因は、IC、LSI、トランジスタ等の能動素子にある。
- ・ 現象：同時スイッチング、グラウンドバウンス等、電源ライン変動等
- ・ クロック周波数による高調波成分について

図 31 はクロックが 1GHz のパソコンの場合、原発振は例えば 14MHz 等の水晶発振回路を用いて、PLL (Phase Lock Loop) 回路により、周波数変換(分周、逡倍)され、33.3MHz (PCI バス用)、48MHz (USB 用)、133MHz (メモリ用)、1GHz (CPU 用) 等の必要な周波数を作り出している図である。この場合、各周波数  $f$  の高調波ノイズ、 $nf$  ( $n$  は整数) が発生する。

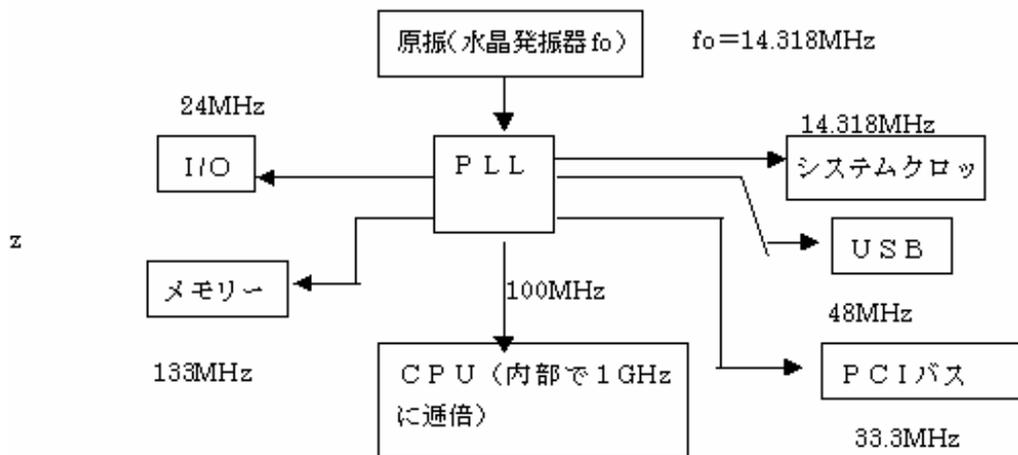


図 31 クロック周波数による高調波成分

- ・ 発生する高調波周波数

fo の高調波	$f_0, 2f_0, 3f_0, 4f_0, \dots, n f_0$
I/O の高調波	$24, 2 \times 24, 3 \times 24, 4 \times 24, \dots, n \times 24$
USB の高調波	$48, 2 \times 48, 3 \times 48, \dots, n \times 48$
PCI バスの高調波	$33.3, 2 \times 33.3, 3 \times 33.3, 4 \times 33.3, \dots, n \times 33.3$
メモリーの高調波	$133, 2 \times 133, 3 \times 133, 4 \times 133, \dots, n \times 133$

- ・ 最近のコピー機は、CPU を数多く使っており（例えば数 10 ヶ等）、上記のような画像処理基板、SW 電源、高圧電源、モータ等、ノイズ発生源が多く最もノイズ対策が難しい電子機器の一つとなっている。

- ・ノイズ対策のためには、測定した放射ノイズと、上記の高調波周波数とを照らし合わせ、どのクロック周波数の高調波であるかを確かめて発生箇所を探り当て、そこに対策を施す。

参考資料：川本ノ稻毛「デジタル・コピー機」トランジスタ技術 2001.1

色川「回路におけるノイズ対策」EMC、'96,10.5、No.102

実習：ノイズ発生源、フィルターのシミュレーション

1. CR 積分回路、CR 微分回路 Spice シミュレーション、過渡解析
2. IC 出力段の同時スイッチングシミュレーション
3. 同時スイッチングによる電源ライン変動
4. 各波形の周波数スペクトラムの違い
5. 高調波を取るためのフィルター回路（定Kフィルターの計算）

### 5-1 スイッチング(SW)電源

近年では、電子機器の殆どは低ノイズを必要とするような（例えば、医療機器等）場合以外は、小型、軽量であることから、従来のドロップ方式に置き換わりSW電源が採用されている。しかし、一方では大電流を高速でスイッチングするため、大きなノイズ発生源となっている。

#### （1）ノイズ発生源としてのSW電源

- ・SW電源は、DC電圧を一端、半導体SW素子により高周波(20~500kHz)に変換して、電圧変換した後、整流して所望のDC電圧を得る
- ・1960年代NASAで始めて人工衛星に採用(日本製、ネックラム社)
- ・SW電源は変換損失が少なく、従来のドロップ方式に比べ、小型、高効率となる。
- ・SW電源の基本機能は直流(Direct Current)電圧の変換であり、DC-DC、DC-AC、AC-DC等のタイプがあるが基本はDC-DC変換である。
- ・伝導ノイズ(雑音端子電圧)の発生源となっている

参考資料：庄山他「スイッチング電源とEMC」H12年電気学会全国大会

#### （2）SW電源回路方式

- ・D/Dコンバータ(DC to DC Converter)、チョッパー回路
- ・オン・オン方式 一石式フォワードコンバータ、二石 Push-Pull、Half Bridge
- ・オン・オフ方式 RCC(Ringing Choke Converter)
- ・共振、ソフトSW方式

参考資料：原田他著「スイッチングコンバータの基礎」第2章：PWMコンバータ

## の回路方式 コロナ社

- 実習： 1．出力整流回路シミュレーション  
2．オン・オフ方式、一石フォワードコンバータ方式

### (3) 高調波電流規制とその対策方式

- ・アクティブフィルタ、ワンコンバータ、チョークコイル方式等

実習3．AC 整流回路の電流高調波シミュレーション、チョークコイルの効果

- 4．ラインフィルタ特性、RC フィルター、LISN 特性

### (4) IH 方式

- ・電磁調理器等応用製品、最近では、コピー機の定着加熱に使用する例もある

実習：IH インバータ回路シミュレーション（共振方式）

### (5) その他電源に関わる動き

- ・省エネ規制、エナジースター規制、トップラランナー方式
- ・待機時電力の削減 待機用 D/D コンバータ

## 第6章 その他

これまで東北職業能力開発大学校で行われた「EMC と高周波機器」から、EMC に関連した教材について説明した。

EMC 教育訓練は、企業における中堅技術者を育成する大学校の目的において、今後必ず必要な知識といえる。今回紹介した教材は当大学校に客員の資料をもとに紹介したが、今後の訓練教育教材を目指しさらに熟知したい。

なお今回の事例教材では紹介出来なかった EMC 分野も数多くあるので、その一部を紹介しておわりとしたい。

### 6-1 電磁界シミュレータについて

電磁界シミュレータは、電流分布、電磁界分布、放射などをビジュアルに表現できる。このため目では見ることができない、基板からの不要輻射の基を探る手段として、またアンテナの設計など広い分野で利用されている。しかし高価なことから、個人レベルではなかなか購入できないが、本や雑誌の付録として添付されている電磁界シミュレータもある。これを用いることにより、スモールモデルであれば十分解析でき利用価値がある。電磁界のビジュアル効果も得ることができる。

- ・電磁界シミュレータの分類

- (1) 周波数領域法            FEM法(有限要素法)  
                                 MoM法(モーメント法), BEM(境界要素法)
- (2) 時間領域法            FDTD法(時間領域差分法)  
                                 TLM法(伝送線路法)  
                                 PEEC法(等価集中定数回路網法)

上記の内, PEEC 以外はマックスウェルの方程式を使って解析される。プリント基板からの放射ノイズ解析に使われるが, 現状複雑なパターンの解析は困難であり、CADデータとのつながりが必要とされる。その他, 伝送線路シミュレータがある

## 6-2 ノイズ対策部品

ノイズ対策はおのおの電子機器(電子回路)によりことなるが、対策の手順を間違うと何時までたっても規格をクリアすることはできない。ノイズ対策を行うためには下記のような手順を進めると効果的である。

- (1) 有効信号の周波数成分とノイズの周波数分布の把握
- (2) ノイズ発生源と伝送路の関係
- (3) グランドの強化
- (4) シールドによる対策
- (5) フィルタによる対策

これらの対策手法については、多くの参考図書が数多くあるので一読されると良い。(5)の対策部品としてのフィルタには、ノイズフィルタやEMIフィルタと呼ばれものと電源バイパスコンデンサやコモンモード抑制チョークコイルなどがある。

下記の部品はノイズ対策用として使用されている主な部品である。

- ・単一素子の動向：コンデンサ、インダクタ、FB(フェライト・ビーズ)、抵抗、小型化とチップ化動向
- ・複合部品    ノイズフィルター、3端子部品
- ・その他, 最近の高周波用パスコンとして, テイコン(太陽社)、広帯域コンデンサ(トーキン)、1GHz対応パスコン(富士通)、低インピーダンス素子(NEC)など。
- ・シールド材
- ・EMI低減IC、LSI

ICの中に入れるパスコンでは10000pFが可能になってきている。

以上東北職業能力開発大学校が行っている、客員教授の EMC 関連の教材事例から抜粋して、説明を加えて記述した。

最後にこの教材を利用して、東北職業能力開発大学校で実施した企業人スクール「EMC とノイズ低減のための電子回路設計」について紹介する。企業人スクールの様式は第 2 章の EMC カリキュラムモデルで示してあるので、ここでは具体的に実施した日程（様式 2）を示す。実施は、ほぼ週に 2 回のペースで 60 時間計画した。また、受講者が遠方からこられることもあり、企業人スクールの開始時間を 9 時 30 分からとしている。

内容は様式 2 からわかるように EMC 関連の知識とシミュレーション、EMC プリント基板製作のための CAD 操作と設計・製作、高周波関係の測定技術などを取り入れている。また、EMC 規格や最近の EMC 研究動向と対策については外部講師を活用して実施した。

写真 1 は、受講者が CAD により設計製作した、プリント基板を実装しているところである。鉛フリーの半田を利用して、チップ抵抗、チップエミフィルタ、チップコンデンサーを実装しているので製作には苦労した。

写真 1 プリント基板実装



また、写真 2 は外部講師による EMC 規格の説明(a)と実機を利用したのノイズ測定(b)の原理を指導しているところである。企業人スクールで展開する内容には、専門的で高度な技術分野も多く、外部講師を利用することにより、私達でサポートできない方面を担当して頂くことができた。今後も活用して行きたいと思っている。

写真 2 外部講師による企業人スクールの活用

(a) EMC 規格の説明

(b) 測定方法の説明



様式第2号

東北職業能力開発大学校

企業人スクール実施計画書 全体計画

分類番号

時期 (月日、曜日)	訓練時間(H)		教科の概要				担当者
	学科	実技					
9月8日 (水)	6	6	EMC規格とノイズの発生源について ノイズ対策の基礎技術と部品選定、電子 CADによる設計(シミュレーション)				
9月9日 (木)							
9月15日 (水)		6	回路設計とプリント基板のパターン設計				
9月16日 (木)		6	プリント基板部品作成、プリント基板製作				
9月29日 (水)	6	6	高周波回路のための設計技法				
9月30日 (木)			高周波測定技法				
10月6日 (水)	6	6	イミュニティの改善方法とシミュレーション、 プリント基板の製作回路測定				外部講師
10月20日 (水)			現場のノイズ対策手法と最近のEMC規格動向				
10月21日 (木)			回路検証とノイズ対策回路製作、 動作確認と測定、検証				
11月18日 (木)		6	ノイズ対策まとめ、演習問題 資料整理・プレゼンテーション				
訓練時間 合計(H)	18	42	総訓練時間 合計(H)	60	総訓練日数 合計(日)	10	訓練時間帯 9:30~16:30
備考							

### 第3節 問題提起 - 「電子機器のための EMC 対策」の必要性 -

電子工学に関わる「ものづくり」は機械系・建築系と若干異なる点がある。機械系・建築系では「形」のある「物」を作ることが多いが、電子系では形より機能を作ることが重視される。多くの電子部品を使って一つのシステムを作る場合、完成した「物」は当然、一定の「形」を持っているが、この「形」よりシステムの機能の優劣が重要となる。回路を設計し、試作しても、その特性評価において設計仕様を満足しなければ「もの」にはならない。すばらしいデザインの携帯電話やパソコンもノイズで誤動作してしまえばただの箱となってしまう。

21世紀に入り、高度情報化社会が急速に構築されつつある現在、携帯電話やパソコン等の通信機器への小型化、大容量化、高速化に対する要求はますます加速している。このような情報機器や通信機器の小型化や大容量化を達成するためには、ULSI等の高集積化、微細化が必要となる。また、システムレベルの高速化を促進するためには配線長を短くする必要があり、この意味でもデバイスの高集積化が必要となる。このようにデバイスの高集積化、微細化に伴ってデバイスの動作電圧の低電圧化が進むことになる。一方、情報処理や通信の高速化を促進するためには、信号の高周波化が必須となる。周波数が高くなるに従って、電磁誘導に基づく EMC の問題は顕著に表れるため、EMC に基づくデバイスやシステムの誤動作の問題が懸念される。

以上のように低電圧化が進むと信号の電圧  $V_S$  は低くなる傾向にあり、高周波化が進むとノイズ電圧  $V_N$  が高くなる傾向にあることが分かる。すなわち、電子機器の小型化、大容量化、高速化が進むに従って SN 比が低くなる傾向にあることが分かる。したがって、先端的な電子機器に関する「ものづくり」に当たっては、設計、製造、評価の全てのプロセスにわたって EMC を意識して行う必要がある。

EMC 関連技術は決して華やかな分野とは言えないが、電子機器に関わる「ものづくり」に欠くことのできない重要な技術であり、全ての技術者・技能者が理解を深めなければ、今後の電子産業の発展は望めないものと確信している。

