

# 環境工学（EMC）の実験教材開発と導入への一考察

## A Consideration for the Development and Introduction of EMC Experiment Teaching Materials in Environmental Engineering

熊谷 雅樹 \*1

KUMAGAI Masaki

**要約** 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、スマートフォンなどが一般社会に急速に浸透している。電磁環境工学は、これらの人間社会の電磁環境問題を取り扱う分野として重要視されている。電子関係の産業界では、これらの知識を有する開発技術者育成のために高度な研修を行っている企業もある。筆者は実践技術者の育成という理念に基づき、技能・技術を追求した「ものづくり」を目的として教材作成を実施してきた。今後に期待される技能・技術育成をなし得るには、電子回路設計・製作に加えて、電子機器から発生する電磁環境問題の重要性を職業訓練に取り込むことが必要になると考える。筆者がこれまでに取り組んできた環境工学（以下「EMC」）関連技術による電磁環境工学を学ぶための実験教材開発について報告する。

### 1 はじめに

応用課程生産電子情報システム技術科では、電磁波によるノイズの発生とノイズ発生の抑制を理解・習得するための EMC 応用実習がある。一方で、最近の専門課程電子情報技術科では、高周波回路に関する科目から IoT 関連の科目に代わってきている。高周波回路に関する科目が無いことから、学ぶ機会が無いこととなる。

エレクトロニクス機器は、設計者が意図するしないに関わらず電磁波を発生する。電磁波は電磁妨害（以下「EMI」）となり様々なトラブルの発生原因となる。また、EMC 設計技術とは、EMI を抑制し電磁環境下においても機器を正常に動作させる技術（電磁妨害感受性：EMS）のことである。EMC 設計技術の重要な技術の一部としてノイズ発生の抑制対策がある。先行研究では、EMI の発生機構が解明されてきている。EMC 設計の考え方を習得するには、高周波回路の知識が必須である。また、エレクトロニクス機器開発にも必須の技術であり、学生の企業での活躍においても優位になると考える。

### 2 目的

EMC 設計技術を学ぶためには、電磁気学や伝送工学などの知識を必要とする。一方で最近のデジタル回路技術を主として学んで来た学生には、電磁気学などの科目はなじみが薄いようである。以前、筆者が勤務していた東北職業能力開発大学校 応用課程平成 26 年度の実習においては、EMC 設計技術を理解することに学生は困難を感じているようであったことから、ノイズ関連の教材モデルを開発することとした。

### 3 実習教材の実験テーマ

今回は、EMI の発生源としてデジタル回路によるクロック回路の教材とラインフィルタ回路によるスイッチング（以下「SW」）電源のノイズ低減効果の教材モデルを紹介する。

#### 3. 1

EMI の低減効果を習得する目的で、EMI の発生源としてデジタル回路のクロック回路に関する教材を開発し実習を実施した。実験教材テーマを表 1 に示す。

\*1 電子情報技術科 Department of Electronics and  
Information Technology

表1 教材テーマ名

No.	テーマ名	主な計測器
No.1	低放射ノイズパターン設計	スペクトラムアナライザ <sup>※</sup> 、TEMセル、ノイズワイド <sup>※</sup>
No.2	スペクトラム拡散によるノイズ低減	ワウ、オロスコープ、ネットワークアナライザ <sup>※</sup>

### 3. 1. 1 クロック回路のノイズ低減効果に関する教材

#### 1) No. 1 ベタGNDによる低放射パターン設計

電子機器に使用されるプリントパターンのGND面積を広くすることは、放射ノイズの抑制に有利と言われてきた。しかし、実際にどれだけの面積比率があればどれだけの効果があるかということについての具体的な数値はほとんど見当たらない<sup>1)</sup>。

プリント基板全体を放射ノイズ源と考えた場合、GNDパターンを広くすることが放射ノイズ抑制に効果があるという点に着目し、対向面積を数値的に把握し、放射ノイズとの関係を定量化することを目的として教材モデルを作成した。(図1)

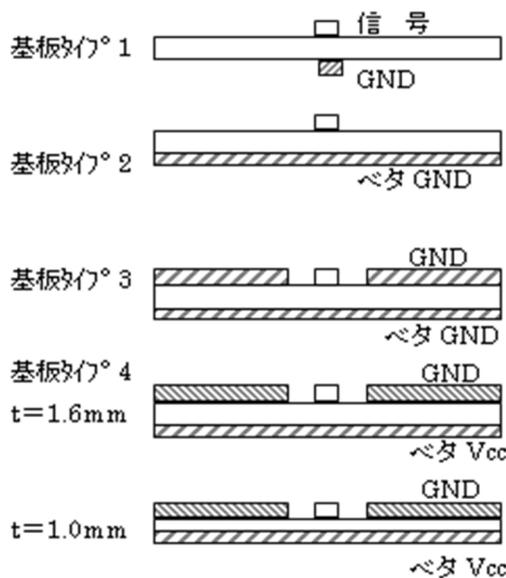


図1 GNDパターン構成の違いによるクロック回路からのEMI測定基板

TEMセルの内側サイズが、175×150mmであることから、測定出来る基板のサイズは、100×75mmとした。また、回路規模には制限がある。図2は今回測定に使用したTEMセルで、測定周波数測定範囲は0.1～1000MHzになる。

#### 2) No. 2 スペクトラム拡散によるノイズ低減

EMCの新しい技術として、クロックにスペクトラム変調(SSC)をかけるEMI低減法が考案され特許となっている。現在、多くの電子機器が動作クロック周波数を意図的に掃引する拡散スペクトラムクロック(SSCG)方式を採用している。SSCG方式では、高調波雑音の放射電力自体を低減する効果はないが、スペクトルのピークレベルを下げる効果をもっている。このクロック発振器をSSCとし、変調度-1%、-2%、-3%、無変調時のEMIの変化を計測し、比較考察した<sup>2)</sup>。このようなSSCの効果を実験した結果を示す。

図3(a)は変調なしの場合をTEMセルで観測した結果である。高い周波数帯まで不要電磁波が多く出ていることが判る。図3(b)は変調度を0.5%にした場合の測定結果である。変調されたためスペクトラムの幅が広がるが、ピーク値は減少していることが判る。以上より、学生はEMI低減の技術手法を出来るだけ幅広く習得できることが可能だと考えている。

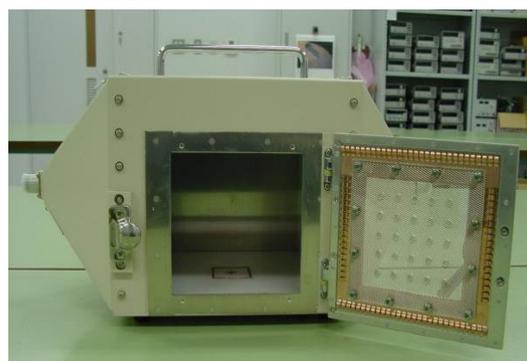


図2 TEMセル (共立電子 KTC-5055 内径17×150mm)

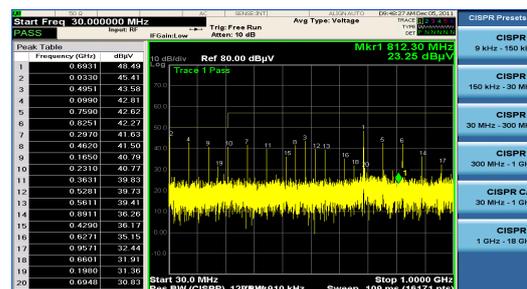


図3(a) 変調なしの場合の測定

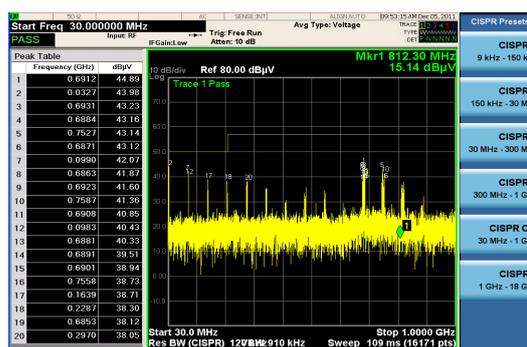


図3(b) 変調度0.5%の場合の測定結果

### 3. 1. 2 ラインフィルタ回路によるSW電源のノイズ低減効果に関する教材

EMIの抑制について、より簡便に学ぶことができる教材を作成することとした。教材としてSW電源を使用したラインフィルタを製作することにした。SW電源は、ACラインからノイズを流出する。このノイズの低減方法は先行研究で報告されており、EMCの考え方を理解するには有効であると考えた。図4に測定回路を示す。

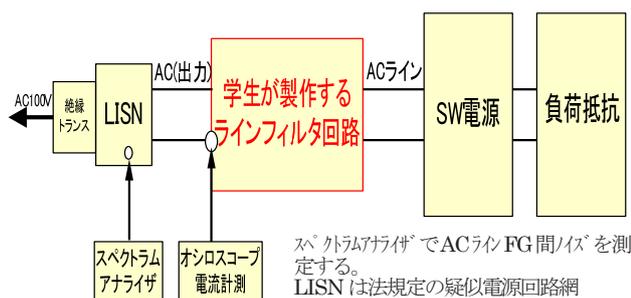


図4 測定回路

#### 1) コモンモードノイズ (以下「CMノイズ」)

CMノイズは、信号線と機器等のフレームグランド(以下「FG」)間を流れるCM電流によるノイズである。SW電源のACラインとFG間に発生するノイズはCMノイズで雑音端子電圧(以下雑端)と呼ばれ、法規制の対象になっている。CM電流の発生要因は様々であり、明確で無いためCMノイズの対策は難しい。また、AC入力のSW電源にはこのノイズを低減するためにCMフィルタが使われる。

図4の測定回路の赤字部がラインフィルタ回路で、その代表的な回路を図5に示す。CMコイルは、ノーマル電流にはインダクタンスが小さく、CM電流には大きな値を示すインダクタである。このフィルタを学生に製作させ、SW電源のAC入力部に挿入して雑端を計測し、どのようなフィルタが雑端を減らせるかを調べることで、EMCとCMノイズの理解を深めてもらう教材とした。

#### 2) フィルタ回路及びSW電源の種類

製作するフィルタは図5の回路を基本とした7種類とした。図5のYコンデンサ(以下「Yコン」)はACラインとFG間に入るコンデンサで、Y字状となるため、通常Yコンと呼ばれている。また、Xコンデンサ(以下「Xコン」)はACライン間に挿入されるコンデンサでXコンと呼ばれる。実習では、Xコンの全てを0.1 $\mu$ Fとした。また、7種類のフィルタ回路は、CMコイルとYコンの値を変えて遮断周波数(以下 $f_c$ )を変えたもの

や、入出力を変えたもの、ノーマルモードコイルを入れたものなどである。図5右に学生が製作した一例を示す。

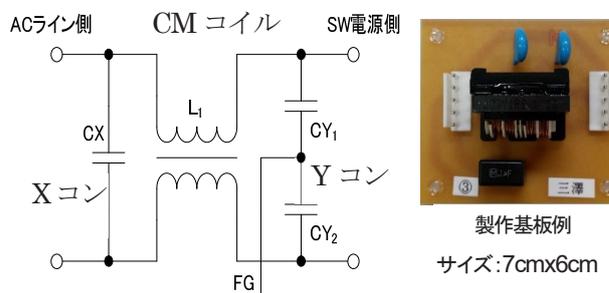
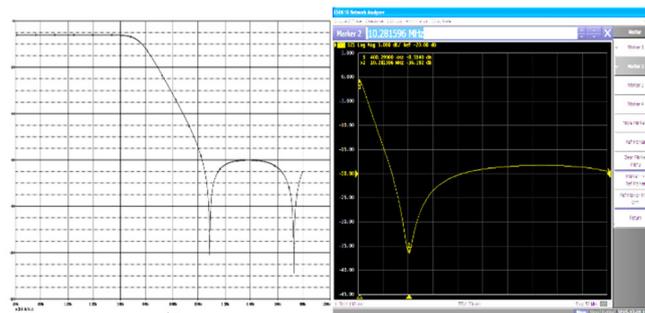


図5 ラインフィルタ基本回路と学生製作例

### 3) 伝導ノイズ(雑端)の測定

フィルタの特性は $f_c$ で決まるため、CMコイルとYコンの値を変えて $f_c$ が10kHz~120kHzとなる回路にした。図6(a)にCMコイルが20mH、Yコンが4700pFで $f_c$ が16KHzの場合のシミュレーション特性を示す。各素子は自己共振周波数を持つため図中、ディップする特性が2ヶ所見られるが周波数の低い方が約0.4MHz、高い方が約20MHzで、それぞれCMコイルとYコンの自己共振周波数によるものである。

図6(b)には、そのネットワークアナライザ(以下「ネットアナ」)による測定結果を示す。ネットアナの下限の測定周波数は100kHzなので遮断周波数 $f_c$ を観測することは出来なかったが10MHzにディップが見られ、これはYコンの自己共振周波数に起因すると考えられる。図6(b)で20MHzよりその周波数が低いのは、パターン配線のインダクタンスの影響によるものと考えられる。次に雑端の測定結果を図7に示す。図7(a)はフィルタのないSW電源単体の特性で、図7(b)は図4の特性のフィルタを挿入した場合である。図から、フィルタ挿入で大幅に雑端が低減できたことが分かる。遮断周波数 $f_c$ 以上ではノイズ低減が大きいのは期待通りだが、YコンやCMコイルの共振周波数帯域でもノイズが低減されているものと推定される。



(a) シミュレーション 周波数100Hz~30MHz  
 (b) ネットアナ測定結果 周波数0.1MHz~50MHz

図6 フィルタ特性



(a)SW 電源単体 (b)フィルタ挿入時

図7 雑端測定結果

#### 4) 放射ノイズの測定

放射ノイズは、SW 電源単体でも法規制対象となるノイズである。SW 電源にラインフィルタ回路基板を施した場合と、無しの場合について放射ノイズのノイズ低減効果を測定した。図8に放射ノイズ測定システムを示す。図9(a)、図9(b)に放射ノイズの測定結果の一部を示す。提示したグラフは、放射ノイズ(不要輻射)の水平偏波の測定結果である。EMC 規制のリミットライン(矩形上のライン)は、CISPR Class B 規格で測定した。放射ノイズは、SW 電源単体の状態でも EMC 規格のリミットライン以下に抑えられており、ラインフィルタ回路によるノイズ低減効果はあまり確認することができなかった。



図8 放射ノイズ測定システム

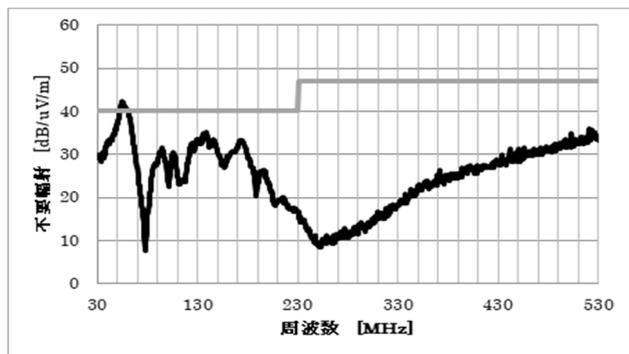


図9(a) ラインフィルタ回路無し(SW 電源単体)

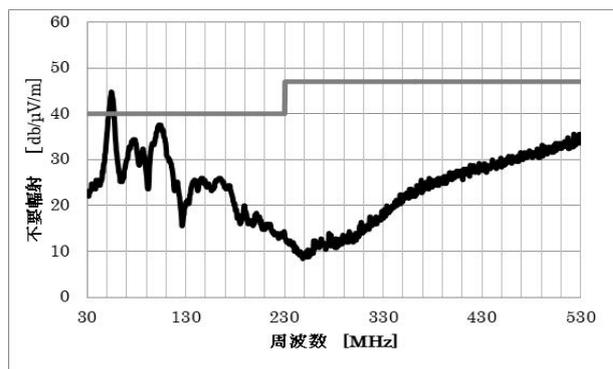


図9(b) ラインフィルタ回路ありの場合

#### 4 まとめ

本研究で開発した教材は、次のような特長がある。

- ・ノイズ対策部品の定数や配置によりノイズ低減効果を確認できる。
- ・実習中に信号をリアルタイムで観察することができ、結果を確認しながら実習を進めることができる。

学生には、このような教材と実習方法で EMC 設計技術がエレクトロニクス技術者にとって必須のものであることや、理解を深めることができると考えている。

EMC 設計技術と高周波回路技術は密接に関係している。高周波回路は信号の伝達速度、損失の管理がシビアとなるため、配線幅/配線ギャップ、板厚等を考慮する必要がある。また、EMC 設計技術においては、発生するノイズを抑制するために、高周波回路技術が必要となってくる。終わりに、電子回路設計・製作には EMC 設計技術と高周波回路技術の必要性を述べてきたが、専門課程においてもこれらの関連科目を取り入れる事が必要なのではないだろうか。

#### 謝辞

教材モデル開発に際して、元東北職業能力開発大学校 奈須野裕氏、大内二郎氏(非常勤講師)には多くのご協力とご指導頂いたことに大きな感謝を表します。

#### 参考文献

- 1) 大内二郎:「放射ノイズ低減°リソパターン設計手法」電気学会論文, T. IEE JAPAN Vol. 118-C, No. 7, 1998
- 2) 奈須野裕、熊谷雅樹、大内二郎:「応用課程における環境工学 (EMC) 実習導入への一考察」. 平成24年職業大フォーラム2014 論文集(2014)