

ノイズ解決の早道六法

【原題】 EMC Made Simple
-Printed Circuit Board and System Design-

基板/ケースからコネクタ/ケーブルまで
正しく理解してシンプルに対策する

Mark I.Montrose 著

櫻井秋久/福本幸弘/原田高志/藤尾昇平/

大森寛康/池田浩昭/伊神眞一/大谷秀樹 訳

Calculus → Algebra

$$\frac{d(\text{Maxwell})}{d(\text{EMC})} = \text{Ohms Law}$$

ご購入はこちら

<http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/42/42821.htm>

CQ出版社

見本

To my Japanese friends and fellow engineers

Throughout my professional career I worked toward providing benefits and technology for everyone. We live in a digital world where almost everything electrical contains digital components communicating with each other using a transmission line as a propagating media (radiated field or conducted currents). The field of electromagnetics and its relationship to compatibility is considered by many to be a difficult area of academic studies, yet it is the most important aspect and foundation of electrical engineering. Everyone needs to understand how electromagnetic field propagation occurs in a simplified manner, including those writing software as well as mechanical designers.

This book, *EMC Made Simple-Printed Circuit Board and System Design*, is a cumulation of knowledge learned over nearly four decades of applied engineering design, testing, troubleshooting and certification. It took me years to fully understand the field of electromagnetics at the applied level since this subject did not exist when I attended one of the top universities in the United States for electrical engineering. I had to figure things out the hard way as essentially nobody knew what to do back in the 1980s. A visualization approach was developed, not mathematical, which turned out to be the key to success. Practitioners need to get a job done quickly and most, if not all of my clients now as a consultant, have never used simulation or computational analysis nor will they ever. This observation is worldwide thus, the need for engineers to learn a subject generally not taught in universities is the focus of this book; applied versus theoretical electromagnetic engineering.

To my Japanese friends and engineers, the contents of this book is to help “you” become a successful designer and EMC engineer. The pressure to get products to market quickly means limited time for detailed computational analysis using equations that describe field theory with little relationship, if any, to applied applications and designs. Using the concepts presented in this book, a fresh approach with a unique manner of presentation helps open our eyes to viewing things differently. Change is difficult for engineers after years of academic education with a focus on theory and math. Try something that is unconventional and different. See the results. This is especially true with the physics of electromagnetic and its relations to compatibility. Everything should be “Made Simple”, the topic of this book. Once we simplify and understand what Maxwell tells us in a visual manner, design engineering can become fun again with compliance easily achieved.

This book, translated from English, increases the knowledge of Japanese engineers as we all work together or deploy technology for the benefit of humanity, which also happens to be the tagline of the IEEE.

Enjoy reading and remember to understand and apply what is presented. Think differently and use the concepts presented in a creative manner.

Mark I. Montrose
Montrose Compliance Services, Inc.
Santa Clara, California (the heart of Silicon Valley)

見本

まえがき

本書はMark Montrose氏の「EMC Made Simple, Printed Circuit Board and System Design」を邦訳したものです。Montrose氏はコンサルタントとして数十年にわたり実践的なEMC設計対策に携わり、世界中のさまざまな企業において実績をあげてきました。また、熱心な教育・啓蒙活動などが評価され、IEEE会員資格最高峰のIEEEフェローを受賞しています。実践的かつ直感的であることを原則にこれまでに多くのEMC関連書籍を出版しています。有名な「20Hルール」は彼によって広められ、しばらくPCB開発におけるEMC対策の基本ルールの1つとして多くの現場で採用されてきました。本書の翻訳も担当した櫻井と伊神による「20Hルールは必ずしも正しくない」というIEEE International Symposiumでの挑戦的な発表をMontrose氏は最前席で聴講してくれました(最終的には納得してもらいました)。その発表が縁で彼と知り合いとなり、2014年米国ノースカロライナRaleighで開催されたIEEE International EMC SymposiumにおいてMontrose氏が原著を手に「自分の長年の経験を活かした、EMC設計技術をわかり易く解説した本ができた。日本語で出版できないだろうか」と相談を受けました。帰国後に原書をお見せしたCQ出版社の寺前氏に、EMC設計に必要な項目がよくカバーされているので「是非日本の読者に向け出版しましょう」と快諾を頂いたことから本書が出版されることとなりました。

本書はPCB(Printed Circuit Board, プリント配線基板)のEMC設計の学習者に必要な技術分野をMontrose氏の独自性を含ませ丁寧に網羅し、さらに筐体シールド、ケーブル・ノイズのフィルタリング手法について、これまでにない詳しさを解説しています。EMC技術を解説したC.Paul教授の名著「Introduction to EMC(邦訳: EMC概論)」とは、実践的という意味で一味違うものとなっています。

本書の日本語化には長年業界、学会のEMC分野で活躍して来られた、元NEC中央研究所でEMC設計技術の開発研究に従事されていた原田高志氏(現トーキン)、パナソニックの開発部門でEMC設計技術の開発に従事されていた福本幸弘氏(現九州工業大学)、日本航空電子工業でPCBを対象としたEMCシミュレーションの応用技術開発に従事する池田浩昭氏、住友電気工業で光デバイスのEMC設計技術の研究に従事する大森寛康氏、日本アイ・ビー・エムで情報機器のEMC設計技術開発に従事してきた伊神真一氏、藤尾昇平氏、回路実装学会・EMCモデリング研究会において草分け的なEMCシミュレーション応用技術開発を行った大谷秀樹氏にお願いしました。

Montrose氏の文章は特徴的な表現が多く、ときに日本語化が難しいものもありましたが、翻訳者の創意工夫により、原著のもつ「Made Simple(やさしさ)」を翻訳の中に表現しています。

すべての章において翻訳された文章を複数の翻訳者が繰り返し読むことにより、よりわかりやすい日本語表現にし、またMontrose氏との確認作業を通して原著にある間違いなども修正しています。そういう意味で、英語版よりも素晴らしいものとなっています。

本書は実践的なEMC設計・対策技術を学ぶ技術者、研究者、学生に最適のものであり、参考書、解説書として広く活用されることを期待しています。

翻訳者代表：櫻井 秋久(日本アイ・ビー・エム)

目次

To my Japanese friends and fellow engineers	2
まえがき	3

第1章 やさしく学ぶEMCとマックスウェル方程式

11

1.1 時間ドメインと周波数ドメイン	12
簡単なほうで考える	
1.2 電磁気学の歴史	12
マックスウェル方程式を作った科学者達(注:ヘビィサイドはマックスウェル後)	
●アレッサンドロ・ボルタ(Alessandro Volta: 1745-1827)	13
●アンドレ・マリー・アンペール(André-Marie Ampère: 1775-1836)	13
●ゲオルク・オーム(Georg Ohm: 1789-1854)	13
●グスタフ・キルヒホッフ(Gustav Kirchhoff: 1824-1887)	14
●ハインリッヒ・レンツ(Heinrich Lenz: 1804-1865)	15
●マイケル・ファラデー(Michael Faraday: 1791-1867)	15
●カール・フリードリッヒ・ガウス(Carl Friedrich Gauss: 1777-1855)	15
●ジェームス・クラーク・マックスウェル(James Clerk Maxwell: 1831-1879)	16
●オリバー・ヘヴィサイド(Oliver Heaviside: 1850-1925)	16
1.3 電磁気学理論(やさしく学ぶマックスウェル方程式)	17
4つの法則の意味すること	
1.4 放射源からの電磁波伝播に関連するアンテナの定義	19
異なるふるまいをする3つの領域	
1.4.1 近傍界(リアクティブ領域)	19
1.4.2 放射近傍界(フレネル領域)	20
1.4.3 遠方界(フラウンホーファ領域)	20
1.5 電気ソースと磁気ソースの関係	20
電磁波の発生源は2タイプ	
1.6 アンテナ・エレメントとして表される電磁界	23
電気ソースと磁気ソースのモデル	
1.6.1 電流が流れる経路	24
1.7 マックスウェル方程式のさらなる簡素化	24
すべてを時間領域で考える	
●電流には交流と直流の2タイプがある	27
1.8 磁束を最小化するしくみ	27
リターン電流で磁束をキャンセル	
1.9 表皮効果とリード・インダクタンス	28
周波数が高くなると電流は導体表面に集まって流れる	
1.10 やさしく学ぶコモン・モード電流とディファレンシャル・モード電流	30
とても厄介なコモン・モード電流	
1.10.1 ディファレンシャル・モード電流	31
—信号と電流の大きさ向きが逆—	
1.10.2 ディファレンシャル・モード放射の計算式	32
—ディファレンシャル・モード電流からの放射はループ・アンテナからの放射—	
1.10.3 コモン・モード電流の解説	33
—放射ノイズのもとになる—	
1.10.4 究極の簡素化—どのようにしてコモン・モード電流が発生するか	34
—伝送線路の電力損失がカギ—	
1.10.5 コモン・モード放射の計算式	36
—コモン・モード電流からの放射はダイポール・アンテナの放射—	

見本

1.10.6	コモン・モード電流がI/Oケーブルを駆動し放射を引き起こす理由 —ケーブルに漏れるコモン・モード電流—	36
1.10.7	ディファレンシャル・モード電流とコモン・モード電流間の変換 —容量や誘導結合によりディファレンシャル・モード電流がコモン・モード電流に—	37
1.11	アンテナ効率 電磁界をつくるアンテナの効率	38
1.12	無線周波数 (RF) エネルギーを抑制する基本原理と考え方	39
1.12.1	EMIを抑制するための基本原理 —コモン・モード電流を抑える5つの方法—	39
1.12.2	EMIを抑制するための基本概念 —基板上的コモン・モードを抑えるには—	40
1.13	回路図に現れない受動部品の寄生項 寄生項によって高周波で部品の特性は大きく変わる	40
1.13.1	配線, 回路基板のパターン, および伝送線路 —配線や基板パターンのインダクタンスを考慮することが必要—	42
1.13.2	抵抗 —直列インダクタンスと並列容量を考慮—	43
1.13.3	コンデンサ —自己共振点を超えるとインダクタ—	43
1.13.4	インダクタ —損失と寄生容量を考慮種類を選ぶ—	44
1.13.5	トランス —寄生容量によるノイズ伝播に注意—	46

第2章 やさしく学ぶ伝送線路理論

47

2.1	シグナル・インテグリティの定義 デジタル信号の品質 (インテグリティ) は波形がポイント	47
2.2	高速シグナル・インテグリティ問題の主たる課題 押さえておくべき4項目	48
2.3	伝送線路構造の定義 電磁波のエネルギーを伝搬する媒体	50
2.4	伝送線路の種類 異なる形状と伝送モード	51
2.4.1	同軸ケーブル	51
2.4.2	マイクロストリップ	51
2.4.3	埋め込み型マイクロストリップ	51
2.4.4	ストリップ・ライン	51
2.4.5	平衡線路	51
2.4.6	レベル線路	53
2.4.7	単線	53
2.4.8	導波管	53
2.4.9	光学ファイバ	54
2.5	代表的な伝送線路システムの振る舞い 特性インピーダンスとマッチング	54
2.6	プリント基板 (損失ありと損失なし) における伝送線路構造 不平衡伝送線路とコモン・モード電流の発生	55
2.6.1	損失のない伝送の線路	55
2.6.2	損失のある伝送線路の構造	56
2.7	信号伝送における伝送線路効果 リングングの発生には要注意!	57
2.7.1	リングングが発生する条件	60
2.8	伝送線路終端の概要 終端部品の最適値を把握しよう!	62

見本

2.9	RF電流の分布	62
	リターン電流経路は配線直下の基準プレーン上	
2.10	RFリターン経路の解析	64
	もっとも近傍にある金属薄膜上を流れるリターン電流	
2.11	最適なリターン経路の構築	65
	「低周波」と「高周波」で異なるリターン経路	
2.12	RFリターンのイメージ・プレーンはどのように振る舞うか	67
	インダクタンスとの密接な関係に着目	
2.12.1	イメージ・プレーンの役割と考え方	67
2.13	イメージ・プレーンやRFリターン経路を設けるためのルール	70
	ベタ・プレーンに接近させ、不連続構造を排除	
2.14	ビアによるリターン電流の層間遷移	72
	リターン経路の不連続はコモン・モード電流の発生要因	
2.14.1	信号配線の層間遷移で懸念されること	72
2.15	スプリット・プレーンとRFリターン経路の不連続への影響	74
	デジタル・グラウンドとアナログ・グラウンド、接続の最適化	
2.15.1	デジタル-アナログの分割(リターン・プレーンの分割)	76
2.15.2	分割プレーンの採用におけるフェライト・ビーズ対インダクタ	77
2.16	磁束をキャンセルする考え方(RFリターン電流の最適化)	79
	信号源から負荷までのリターン経路はしっかり確保を!	

第3章 やさしく学ぶインダクタンス

81

3.1	インダクタンスの種類	81
	電流の時間変化(di/dt)で起電力(電圧)を発生	
3.1.1	自己インダクタンス	81
3.1.2	相互インダクタンス	83
3.1.3	部分インダクタンス	84
3.1.4	相互部分インダクタンス	85
3.2	RFリターン電流に関するインピーダンスと伝送線路の振る舞い	86
	インピーダンスを最小とするように流れる電流	
3.2.1	典型的な伝送線路の構造	86
3.2.2	最小インピーダンス	87
3.2.3	伝送線路におけるRFリターン電流の経路	87
3.3	プリント基板のレイアウトと配線長に関するインダクタンスの考察	89
	回路図上にないインダクタンスを把握しよう!	
3.3.1	ループ・インダクタンス	89
3.3.2	ループの相互インダクタンス	89
3.3.3	デカップリング・コンデンサの搭載によって発生するリード・インダクタンス	90
3.3.4	ビアの構造とリード・インダクタンスの影響	91

第4章 やさしく学ぶ電源分配ネットワーク(PDN)

93

4.1	PDNの最適化と必要性	93
	電気電子機器の安定動作のために	
4.2	伝送線路としてのPDN	94
	PDNも特性インピーダンスと伝搬遅延を持つ伝送線路	
4.3	PDNを強化するための主要な条件	94
	特性インピーダンスを最小限にする	
4.4	プリント基板におけるコンデンサの使用	95
	バルク/バイパス/デカップリング	
4.4.1	バルク・コンデンサ	96
4.4.2	バイパス・コンデンサ	96
4.4.3	デカップリング・コンデンサ	97

見本

4.5	共振について(基本回路の解析)	97
	特定の周波数の高周波信号だけを通す	
4.5.1	直列共振	98
4.5.2	並列共振	98
4.5.3	C と直列 RL 回路を並列接続した回路の共振(反共振)	98
4.6	コンデンサの物理的特性	99
	種類・特徴と用途を知る	
4.6.1	コンデンサの種類	99
4.6.2	コンデンサに用いられる誘電体	100
4.6.3	誘電体の種類によるインピーダンス特性	101
4.6.4	デカップリング・コンデンサが機能する範囲	102
4.6.5	コンデンサのエネルギー蓄積能力	103
4.6.6	コンデンサのインピーダンス(実際の自己共振周波数)	104
4.6.7	プリント基板上に実装したときのコンデンサの共振	105
4.7	並列に実装されるコンデンサ(反共振効果)	108
	反共振を知って広帯域化を目指す	
4.8	電源プレーンとグラウンド・プレーンが作るデカップリング・コンデンサ	111
	電源降下を抑制する	
4.8.1	電源プレーンとグラウンド・プレーンの容量の計算	111
4.9	ビアが電源/グラウンド・プレーンに与える影響	112
	電源-グラウンド間の容量が減少する	
4.9.1	電源/グラウンド・プレーンによる容量と単体コンデンサの相乗効果	112
4.10	デカップリング用途における ESR と ESL の影響	115
	等価直列インダクタンスと等価直列抵抗	
4.10.1	ESL の値による性能への影響	115
4.10.2	ESR の値による性能への影響	115
4.11	伝送線路のRFリターン経路としてのプレーン	115
	プレーンは低インピーダンスなRFリターン経路になる	
4.12	多重極デカップリング	116
	コンデンサの ESR で Q 値を下げる	
4.13	最適なデカップリング実装の効果	119
	スイッチング・ノイズ除去例	
4.14	コンデンサ・ブリッジの簡易モデル	119
	容量成分によるリプル抑制	
4.15	電圧レベルを維持するための有効半径	121
	多数のコンデンサで効果が得られる	
4.16	プリント基板の等価回路モデル	121
	能動素子と寄生成分	
4.16.1	伝送線路(配線)インダクタンス	123
4.17	プリント基板のデカップリングに関する相反するルール	125
	不要輻射を最小限にするために	
4.17.1	バスコンは電源ピンに寄せるのか、グラウンド・ピンに寄せるか、あるいはどちらでもよいのか?	125
4.17.2	まったく部品が置かれていない場所にもバスコンを配置する必要があるのか?	127
4.17.3	バスコンの ESR は高いほうが良いのか、低いほうが良いのか?	128
4.17.4	コンデンサの容量値とパッケージ・サイズに関係はあるのか?	129
4.17.5	電源とグラウンドのペアごとに1個ずつコンデンサを配置すべきか、同じ部品ではシェアしてよいのか?	129
4.18	部品とコンデンサ用実装パッドのインダクタンス	131
	配線長・パッドの大きさとVIA配置	
4.19	バイパス, デカップリング・コンデンサの容量計算	133
	自己共振周波数は高く	

4.20	信号配線におけるコンデンサの効果(波形成形)	135
	信号のスルーレートを変化させる	
4.21	バルク・コンデンサの用途	137
	容量不足はEMI発生の原因にも	
4.22	埋め込みキャパシタンス	139
	スイッチング部品に大量の電流を供給できる	
4.23	PDNのガイドラインの要約	142
	電源分配ネットワーク設計の基本	
	●PDNのデカップリング指針：プレーン間隔が狭い場合(< 0.254mm or 10ミル)	143
	●PDNのデカップリング指針：プレーン間隔が広い場合(> 0.75mm or 30ミル)	143

第5章 やさしく学ぶリファレンス接続(グラウンド接続) 145

5.1	リファレンス接続(グラウンド接続)の概要	145
	回路の基準点はどこにある？	
5.2	用語の定義	146
	グラウンドには異なるさまざまな定義がある	
5.3	グラウンド接続システムに関するさまざまな定義	147
	グラウンドの「つなぎ方」にもさまざまな定義がある	
5.4	共通グラウンド接続の記号	148
	グラウンドの記号も使い分けよう	
5.5	0Vリファレンス接続の異なるタイプ	149
	設計者がよく使う「××グラウンド」	
5.6	基本的なグラウンド接続の概念	149
	それはなんのためのグラウンドですか？	
5.6.1	グラウンド接続の誤解	149
5.7	グラウンド接続とリファレンス接続の問題に関して最初に考慮すべきこと	150
	そのグラウンドは安全のため？回路動作のため？	
5.7.1	製品安全のためのグラウンド接続	150
5.7.2	部品への信号リファレンス接続(交流信号またはRFリターン電流)	153
5.8	グラウンド接続の手法	156
	1点グラウンドと多点グラウンドの使い分け方	
5.8.1	1点グラウンド接続手法	157
5.8.2	1点リファレンスへの多点接続(別名は多点グラウンド接続)	162
5.8.3	ハイブリッド・グラウンド接続	165
5.9	伝送線路間のコモン・モード・インピーダンスのカップリング制御	166
	システム間を伝播していくコモン・モード・ノイズを抑える	
5.9.1	コモン・モード・インピーダンス経路のインダクタンス低減法	166
5.9.2	最初からコモン・モード・インピーダンス経路を避ける	167
5.9.3	グラウンド・インダクタンスの最小化	169
5.10	電源/リターン・プレーン内のコモン・モード・インピーダンス・カップリングの制御	171
	まず複数のグラウンド間を伝播するノイズを抑えよう	
5.11	グラウンド・ループの回避	172
	グラウンドを介する大きな電流ループを切る方法	
5.11.1	トランスによる分離	173
5.11.2	光を用いた分離	173
5.11.3	コモン・モード・チョークによる分離	174
5.11.4	平衡回路による分離	174
5.12	多点グラウンド接続による共振	176
	プリント基板とシャーシの間に発生する共振を抑える	
5.13	信号とグラウンド・ループ	179
	マザーボードとドーターカード間などに発生する大きな電流ループにも注意	

第6章 やさしく学ぶシールド、ガスケット、フィルタ**181**

6.1	シールドの有効性	181
	概要と必要とされる理由	
6.2	基本的なシールドの方程式	182
	反射損失/吸収損失/多重反射に分けて理解しよう	
6.3	やさしく学ぶシールド効果の理論	182
	外来電磁界(平面波)と近傍電磁界での考え方	
6.3.1	シールド理論の技術的な解説	183
6.3.2	シールド効果	184
6.3.3	近傍界の条件	185
6.4	シールド材で失われる損失	185
	反射損失/吸収損失/多重反射の原理	
6.4.1	反射損失	185
6.4.2	吸収損失	187
6.4.3	表皮効果と表皮の深さ	187
6.4.4	薄いシールド内における反射	189
6.4.5	吸収損失と反射損失の合成	190
6.5	シールド障壁の開口部	191
	放熱や換気用開口の遮蔽率の計算方法	
6.5.1	開口が1つの場合	193
6.5.2	開口が複数の場合	195
6.5.3	スロット・アンテナの偏向	196
6.5.4	カットオフ以下の導波管	197
6.5.5	筐体とシステム間の導波管と伝送線路	198
6.6	シールド(囲み)内への浸み込み	198
	表面処理の問題点とその対応	
6.6.1	適切なシールドと不適切なシールド	198
6.7	シールド・ケーブルの接地と終端処理	201
	種類と筐体への接続方法	
6.7.1	シールド・ケーブルの種類と用途	201
6.7.2	シールド・ケーブルの接地(一端または両端)	203
6.7.3	ケーブル・シールド終端処理の概要(システム・レベル)	206
6.7.4	シールド・ケーブルの実装方法	206
6.7.5	シールド・ケーブルの適切な終端処理	208
6.7.6	シールド・ケーブルを指定する際に考慮すべき点	208
6.8	隔壁によるシールド	209
	自家中毒や回路モジュール同士の結合による誤動作を防ぐ	
6.8.1	部品やモジュール単位のシールド	210
6.9	ガスケットの用途と使用方法	211
	環境に応じた素材と締め付けトルク	
6.9.1	材料の成分と性能	212
	—筐体の表面処理とガスケットの相性/導電性フィラーを使ったガスケットの特徴—	
6.9.2	一般的なガスケット材料	212
	—種類とその特徴—	
6.9.3	ガスケットを使用する環境	215
	—気密性/防塵性/防水性がある素材—	
6.9.4	ガスケットを使用する場合の機械的問題	215
	—腐食/締め付けトルク/取り付け方法—	
	●ガスケットの連続性と接続性	216
	●ガスケットの圧縮について(塑性変形:ガスケットのへたり)	216
	●腐食	217
	●接合部の凹凸	217

●合成ゴムを使ったガスケット設計の違い	218
●ガルバニック腐食しない金属の組み合わせ	218
●締め付けトルク	219
●ガスケットの取り付け方法	220
6.10 導電性塗料	221
プラスチック筐体のシールド方法とその特徴	
6.10.1 塗料を使う場合の懸念事項	222
—導電性塗装が施されたプラスチック筐体の問題点と注意事項—	
6.11 フィルタ	223
種類と特徴, 用途と実装上の注意点	
6.11.1 EMI フィルタとは?	224
—コモン・モードとディファレンシャル・モードを抑制, 過大電圧抑制やサージ保護も可能—	
6.11.2 挿入損失	224
—伝送線路は50Ωとは限らない—	
6.11.3 基本的な受動素子フィルタの要素	225
—種類と使用上の注意点—	
●容量性フィルタ	226
●誘導性フィルタ	227
6.11.4 フィルタ部品に関する寄生成分について	227
—要因とその影響—	
6.11.5 基本的なフィルタの構成	228
—特徴と使い方—	
6.11.6 コモン・モード・フィルタとディファレンシャル・モード・フィルタ	229
—動作原理と使用上の注意点—	
●コモン・モード・フィルタ	229
●ディファレンシャル・モード・フィルタ	230
6.11.7 信号線フィルタ構成	231
—カットオフ周波数の考え方/挿入損失/コモン・モード・チョークの動作原理—	
●コモン・モード除去	233
●コモン・モードとディファレンシャル・モードのフィルタとチョーク	233
6.11.8 AC電源ラインに対するEMI フィルタの選定基準	235
—使用上の注意点や取り扱い方法—	
6.11.9 フェライト材を使ったフィルタリング	237
—素材の物理特性とノイズ除去の原理と考え方—	
6.11.10 ケーブルでのフェライト材の使用	239
—ディファレンシャル・モード電流とコモン・モード電流の要因とその対策—	
●ケーブルのディファレンシャル・モード電流	239
●ケーブルのコモン・モード電流	239
6.11.11 プリント基板上で利用するフェライト・デバイスの選択方法	240
—使用方法/取り扱い/注意点—	
6.11.12 貫通コンデンサ・フィルタ	242
—低ESLな理由と応用例—	
6.11.13 3端子コンデンサ・フィルタ	243
—応用例と使用上の注意点—	
6.11.14 フィルタの取り付けガイドライン	244
—AC電源ライン用や信号線用の実装方法と注意点—	
●AC電源のフィルタリング	244
●信号線のフィルタリング	244
図リスト	246
表リスト	249
索引	250
翻訳者略歴	254
あとがき	257

第 1 章

やさしく学ぶ EMCとマックスウェル方程式

本章のタイトルを見て、多くの技術者や大学生は疑問に感じるかもしれません。はっきり言って、矛盾する表現だと思うでしょう。いったいどうやったら、あのマックスウェル方程式が簡単にわかるというのか？昔よりは工夫されているとはいえ、工学部において通常行われている電磁気学の授業では、マックスウェル方程式について数学的な理論を教えることに焦点が当てられています。たとえば、電磁波の存在を示す場合、図解的な方法ではなく微分方程式や積分方程式を解くことに授業のほとんどの時間が費やされています。一方で、マックスウェル方程式が実際の設計にどう応用されているのか、またこれらの数式が実際の設計にどう役立つのかはあまり重要視されていません。

本当に大切なことは、この数式で説明される理論が電気工学の分野でどのように役立つかということです。実際、マックスウェル方程式だけを使って製品を設計することはほとんど不可能ですし、現実のハードウェアに含まれる寄生成分はマックスウェル方程式を解く際に考慮されていません。それにも関わらず大学の授業で数学的な扱いを重視するのは、研究や教育にとってはそのほうが都合がよいからです。一方、現場の技術者にはモノを組み上げること、コンセプトを設計すること、クリエイティブなツールを用いることのすべてが求められています。そんな技術者にとって数学的な方程式を厳密に解くことは、ある程度無視してもよいことなのです。大切なのは、この方程式が示す原理を理解することなのです。

このように書くと、本書では製品設計においてマックスウェル方程式の意味を軽視しているように思われるかもしれません。しかし、それはまったく逆であり、マックスウェル方程式の数学的な意味を理解することこそが、設計を成功に導く鍵になるということを主張したいのです。複雑な数式を解く必要が出てきたとし

ても今日の我々には洗練されたソフトウェアやシミュレーション・ツールがあるのでから気にすることはありません。

昨今は、半導体の設計技術や製造技術の進展にともなって、最先端の高速化技術に大きな注目が集まっています。将来のプロセッサは、現在のナノスケールよりもっと微細化された技術で作られるようになるでしょうし、フェムト秒(10^{-15} 秒)のオーダーの速度で動作することにもなるでしょう。このような最先端技術を用いて、より高い機能を実現することになるのは、より高速なアプリケーションとコンテンツ配信のニーズがあるからです。単一機能のデバイスは過去のものとなり、多機能な製品が増えつつあります。このような製品には、1つのチップに複数の用途の機能を持つシステム・オブ・システム (SoS) が搭載されることとなります。

SoSの代表的な例として、携帯電話などの無線通信機器があります。私達が持っている携帯電話は、単に電話をするためだけのものではありません。携帯電話の中には、テキスト・メッセージ(メールやSNS)、映像や音楽のストリーミング、複数のフラッシュライト付き高解像度カメラ、Wi-Fi、Bluetooth、GPS、複数のプロトコル(たとえば、CDMAやGSMなど)に対応した通信機能、加速度センサ、高画質ディスプレイ、FMラジオ等多くの機能が含まれています。つまり、消費者が受け入れるものは何でも取り込んだ多機能製品になってきているのです。言い換えると、将来のデバイスは小型軽量パッケージの中にオールインワンに詰め込んだSoSになるということです。

一方で、製品設計の複雑度が上がる中、1人の人間がシステム開発のすべての仕事に関わるのが不可能になってきています。その結果、技術者は自然とデジタル設計者とアナログ設計者に分かれ、デジタル設計者とアナログ設計者に分かれ、

ノイズ解決の早道六法

ISBN978-4-7898-4282-2

C3055 ¥9000E

CQ出版社

定価：本体9,000円(税別)



9784789842822



1923055090002

見本