

これでわかった！ EMC設計の要点

TM-Lab ティー・エム研究所
代表 工学博士 芳賀 知

(注) 本稿は、2005年 ミマツ主催 EMCフォーラムで講演した「これでわかった！ EMC設計の要点」を見直し、整理したものです。

1. はじめに

電子機器は、LSI (Large Scale Integrated Circuit) に代表される電子デバイスの高速化、大規模化に牽引されて、電子回路の高速化、高密度実装化が進んでいる。これにより、EMC(Electro Magnetic Compatibility)対策も、実機での対策が困難となり、機器の設計工程で確実に織り込むことが、ますます重要となっている。本稿では、EMC設計の要点として、最初に基本的な考え方を整理する。次に、EMC設計ガイドラインを、最も影響の大きいプリント基板設計を中心に概説する。最後に、まぎらわしい事項、勘違いしやすい事項等をピックアップし、ポイントをわかりやすく解説する。

2. EMC設計の基本的な考え方

EMC設計の具体的な議論の前に、EMC設計の基本的な考え方をまとめておきたい。EMC対策の難しさには、技術的な側面とは別に、いかに技術者の工数、コストをかけず、最短の期間で対処するかという現実的な側面からの課題もある。

EMC対策に要する技術者の工数、期間から考えると、やはり設計時点で配慮、対策しておくことが重要となる。そして、そのEMC設計は、図1に示すが、以下の基本的な考え方に基づくことになる。

(1) EMI、SI、およびイミュニティの全ての基準をクリア

EMC設計には、EMI(Electro Magnetic Interference)、SI(Signal Integrity)、およびイミュニティ対応がある。それぞれの基準すれすれでも、全ての基準をクリアするような設計をしなければ意味がない。ひとつでも、不十分な個所があると、実機でやむなく、つぎはぎ的な対策検討を行う羽目となる。

(2) 支配的な個所での対策は確実に

電磁界の現象から見ると、支配的な個所はある程度、予測ができる。その個所で、確実に対策を行うことは必須である。

それには、

- a. 放射 EMI であれば、支配的な繰り返し高周波エネルギー発生源とアンテナ
- b. イミュニティであれば、誤動作しやすいデバイスとその侵入経路

Copyright (C) Dr.Satoru Haga

などがある

(3) 発生源（あるいは侵入経路）での対策が効果的

対策を行う場合、一般には、放射 EMI の場合はノイズ発生源すなわち高速デバイス、イミュニティであれば、ノイズの侵入経路すなわち入出力インターフェイス部で対策を行うことが効果的である。

(1) EMI、SI、イミュニティ全ての基準をクリア

- ・全方位的に配慮
- ・バランスを考えた配慮

(2) 支配的な個所での対策は確実に

<例>

- 放射EMIー（要注意信号）クロック信号、バス信号など
（放射体）接続ケーブル、筐体の隙間など
- イミュニティー（侵入経路）入出力インターフェイス部など
（要注意信号）非同期信号など

(3) 発生源（あるいは侵入経路）での対策が効果的

<例>

- 放射EMIー（要注意デバイス）高速デバイス(LSI、OSCなど)周辺
- イミュニティー（侵入経路）入出力インターフェイスコネクタ部など

図1 EMC設計の基本的な考え方

3. EMC 設計のガイドライン

基本的な EMC 設計ガイドラインについて概説¹⁾する。ここでは、紙面の関係もあり、主に放射 EMI 対策について、プリント板設計を対象に、図 2 に示すような電子回路の基本 3 要素である回路機能を実行するデバイス、デバイスに接続される配線、および回路動作の基準となるグラウンドの 3 つの面から整理してみる。

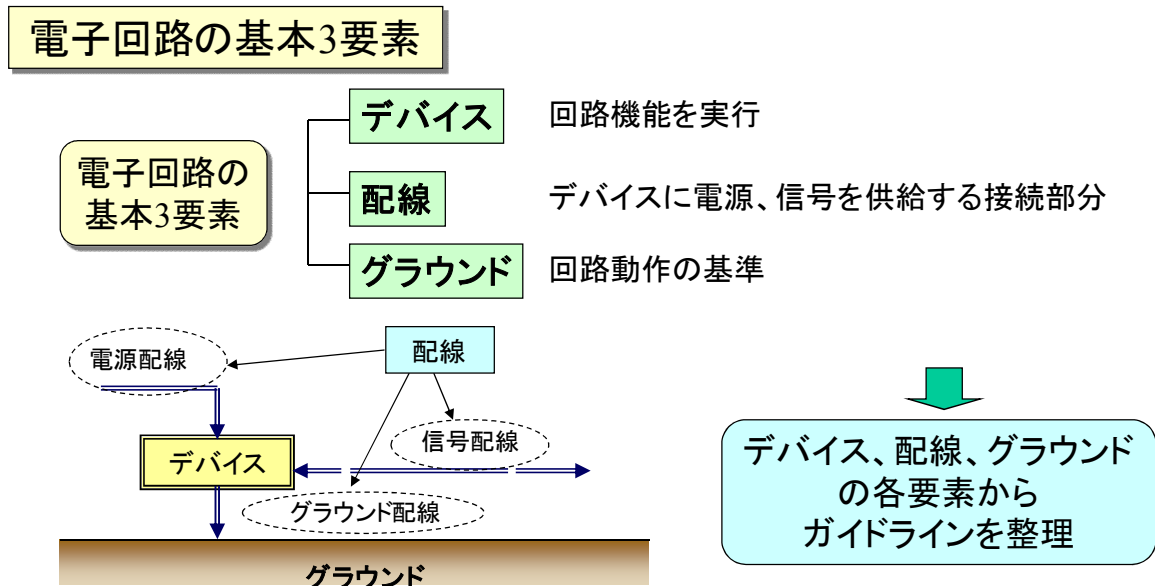


図 2 電子回路の基本 3 要素

3. 1 デバイスの選択と実装設計

回路機能が大規模な LSI に集積が進む中、EMC 設計の面からもデバイスの選択と実装設計は重要度が増している。特にデバイスは活用側からは、ブラックボックスに近い。設計ガイドラインの適用にあたっては、特に留意が必要である。ここでは、基本的な設計ガイドラインについて解説する。

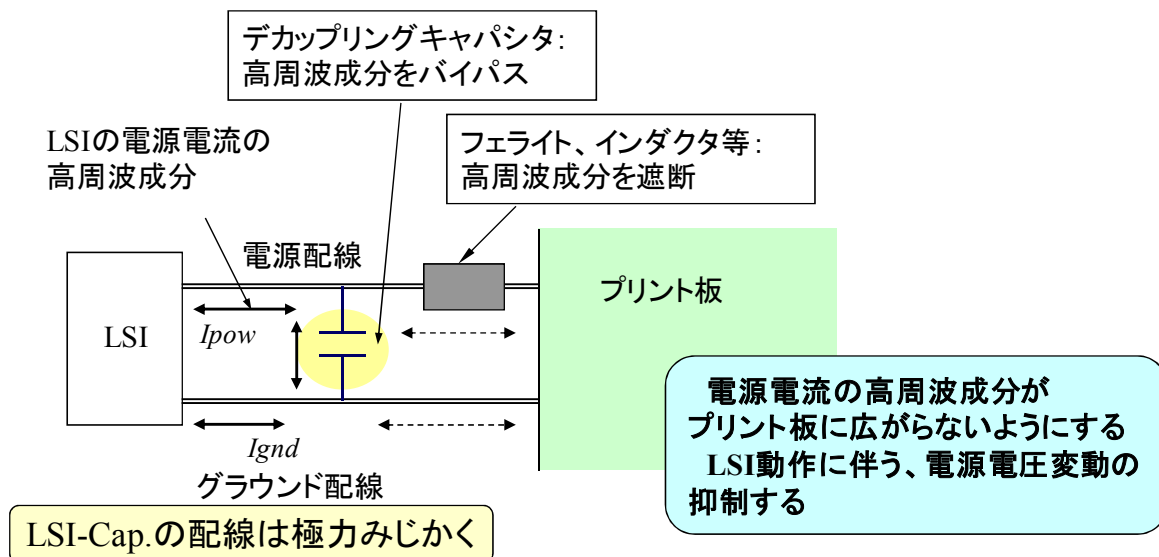
(1) できるだけ低速なデバイスに

EMC の観点からは、タイミングマージン上、問題のない程度まで低速のデバイスを使うべきである。

デジタル信号は、一般に電圧レベルを情報の 0,1 などに対応させた矩形の信号である。矩形信号は、周波数領域で見ると、高周波領域までエネルギー成分を持つ。そして、特に、立ち上がり、立ち下り時間が短い高速デバイスを使用すると、信号の周波数スペクトラムは、高周波領域の広い範囲まで強い成分を持つことになる。信号として必要とされる以上に広がった高周波の成分は、回路動作上、何のメリットもないばかりか、むしろ EMC 問題を引き起こす高周波電磁界を生成することになる。

(2) デジタル LSI などにはデカップリング回路を

デジタル LSI などは、スイッチング時、瞬間的に大きな電流が流れる。これに対して、図 3 に示すように、デカップリング回路により、電源配線の高周波電流がプリント板上に広く分布するのを防止する。



留意点

- (1) 電源配線電流とグラウンド配線電流の差 $|I_{pow} - I_{gnd}|$ はデカップリングされない
- (2) デカップリングキャパシタによる電荷の供給でLSIのスイッチング速度が速くなる

図 3 デカップリング回路の例と留意点

EMC 設計としては、重要な手法であるが、デカップリングのみで、完全な対策ができるわけではない。以下のように留意すべき点が 2 点ある。

- a. デカップリングが可能な高周波電流成分は、差動で流れる電源電流成分のみである。信号電流の帰路電流として流れ込む電源電流はデカップリングのパスには入らない。この場合には、別途、プリント板上で、信号電流の帰路を直近に確保する配慮が必要となる。
- b. デカップリングキャパシタは、本来、高速にスイッチングする際、スイッチング速度を確保するために、デバイスが必要とする電荷を本キャパシタから補填するためのものでもある。当然、電荷が多く供給されるとスイッチング速度が速くなり、結果として電流の高周波成分が増加することになる。したがって、a で述べたようなデカップリングが不可能な信号電流成分については、EMC の点からは、むしろ逆効果となることがある。

(3) デジタル LSI などには安定したグラウンドを提供

デジタル LSI などには、周期的に瞬間的な大電流が流れる。デジタル LSI などに安定なグラウンド面が提供されていない場合には、不必要な高周波電流が広く分布するはめになる。さらにデカップリング回路も十分な機能を果たせなくなる。基準電位を安定させ、高周波電流の広がり抑制するためには安定したグラウンドを提供する必要がある。

プリント板設計の点からは、図4に示すように、デジタルLSIなどは、プリント板の層構成でグラウンド面が直近となる配置をする。さらに、QFP(Quad Flat Package)のようなパッケージの場合には、直下をグラウンドのベタ面とするようにすることが望ましい。

(具体的手法)

- ・グラウンド面側に実装する
- ・LSI実装下部は、できればベタグラウンドとする など

- ・LSI、オシレータなどを安定なグラウンドに実装
- ・グラウンド配線のビアのリアクタンスによる影響を抑制
- ・LSIから発生する高周波電磁界の広がりの抑制

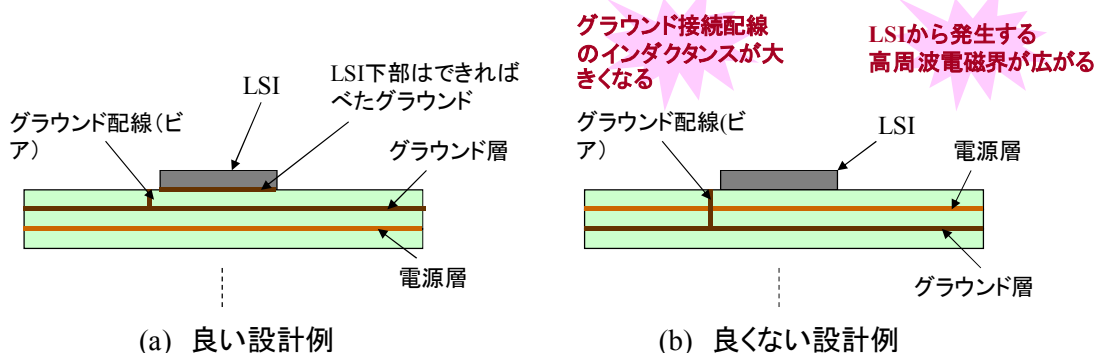


図4 デジタルLSIなどの実装設計

ICの実装面:4層 S-P-G-Sの 電源層側実装とグラウンド層側実装の比較
 IC: 74ALVC04(立ち上がり時間 2ns)
 プリント基板: 20MHz信号入力、出カトレースなし

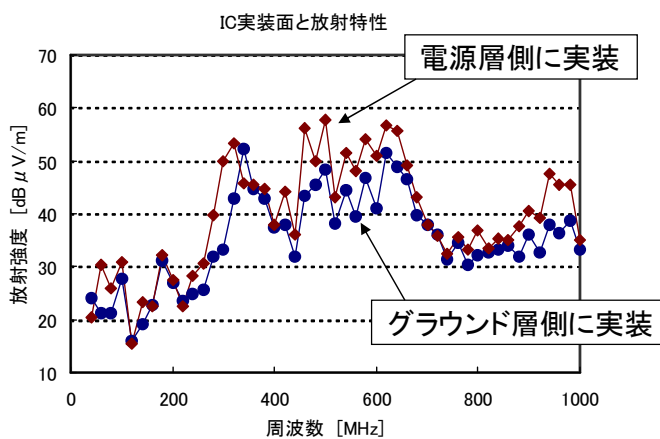


図5 ICの実装面とEMI放射特性比較

3. 2 配線への配慮

プリント板の配線設計に関しては、単純なモデルで検討することができるため、設計ガイドラインが最も充実している。ここでは、代表的な設計ガイドラインを解説しよう。

(1) 配線長を短く

デバイス間接続の配線長を短くすることが最も基本的なことである。配線は、回路機能としては何の働きもしない。むしろ、EMC 問題を引き起こす主要な個所のひとつである。仮に、配線長がゼロであれば、反射、クロストーク、および電磁界の広がりも発生しない。

(2) 配線の不連続部を少なく

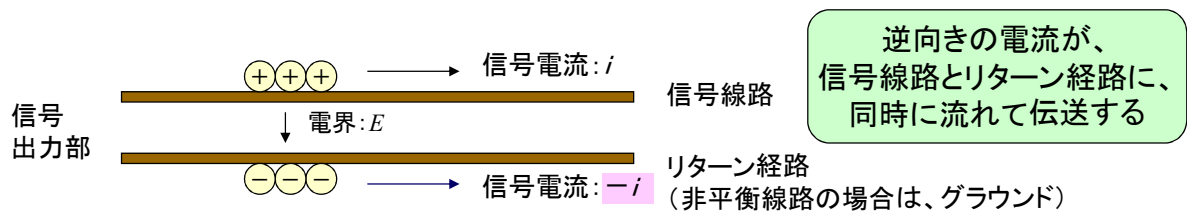
配線の不連続部では、電磁界の分布も不連続となることから反射が発生し、結果として周辺に電磁界が広がることになる。レイアウト設計上はできるだけ避けるべきである。ちなみに、配線の不連続部には、配線の先端が開放、90度のコーナー、特性インピーダンスの変化する部分、同軸-マイクロストリップ線路の変換部などがある。

また、同様にデジタル信号の配線では、通常、配線のインピーダンスより、レシーバの入力インピーダンスが大きく、反射が発生してしまう。このため、反射抑制のために、適当な終端回路を設けることが必要である。

(3) 電流のリターン経路を確実、安定に

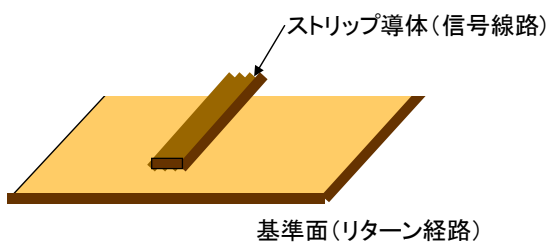
配線による電気エネルギーの伝搬は、導波管とは異なり、2本の配線に逆向きの電流が流れることによって行われる。図6に電気エネルギー伝搬のための線路構成とその前提を示す。平衡線路の場合には、平衡した2本線路で構成され、それぞれの線路が行きと帰りの経路を分担する。この場合、2本の線路が平衡していることが前提となる。不平衡線路の場合には、通常、細いストリップ導体と広い面状の基準面から構成され、信号電流はストリップ導体に流れ、面状の基準面がそのリターン経路となる。この場合、基準面が一様で無限大に近い広さを持っていることが前提となる。ところが、実際のプリント板設計において、このような理想的な線路構成を形成することは不可能に近い。このため、特に影響の大きいものについては、以下に示すような配慮を行う。

信号伝送の基本



通常のパリント板の線路

(例) マイクロストリップ線路



理想的なリターン経路:
基準面が一様で、無限大の広さ

↓

実際のプリント板では、理想的なリターン経路とすることは不可能である

特に、影響の大きいものは

図6 電気エネルギー伝搬のための線路構成と前提

a. 層間移動配線 (ビア配線) はできるだけ避ける

片面プリント板以外では、信号配線層が複数層になることから、配線収容性を確保するためには、必然的に層間を移動する配線が必要となる。図7に例を示すが、層間を移動する配線は、マイクロストリップ線路構成のように直下の面を基準面として信号伝送している場合、基準面が他の基準面に切り替わることになる。信号伝送上からは、電磁界分布が不連続となり、信号波形の劣化を引き起こす。また、2つの基準面間でリターン電流相当の電荷の移動が必要となり、これは2つの基準面間を不必要に励振することになり、放射の原因となる電磁界の原因となる。

原則として、ビア配線はできるだけ避けるべきである。特に、クロックのようなクリティカルな配線は、同一層内で配線すべきである。

(ビア配線の影響)

- ビア配線部で電磁界が不連続、伝送信号の劣化を引き起こす
- ビア配線部で基準面を励振、基準面を不安定、および放射EMIの原因となる

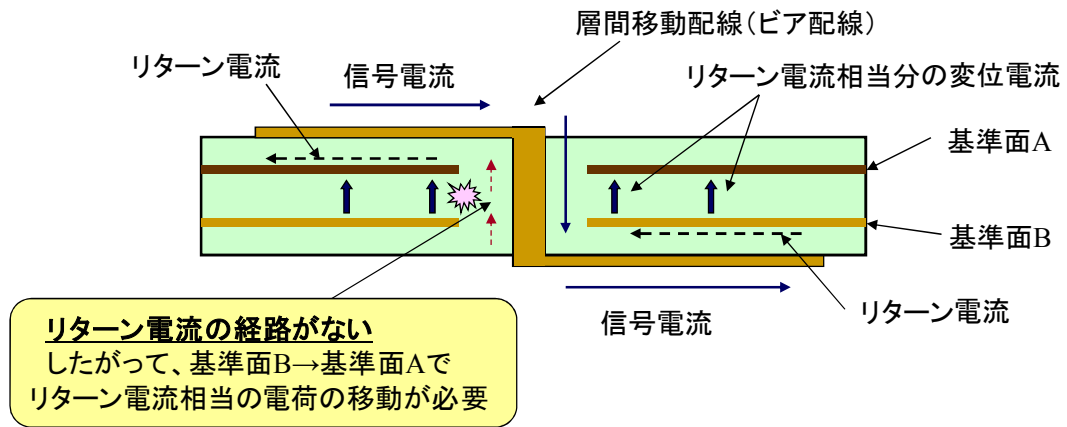


図7 層間移動配線(ビア配線)と電流の経路

b. 基準面スリット部をストリップ導体の通過不可

リターン経路が直近に確保されない個所があった場合には、電磁界が不連続となる上、その個所から電磁界が広がることになる。これについて、よく言われている例として、図8に示すように、マイクロストリップ線路構成で、ストリップ導体が、直下にスリットがある基準面を通過することは避けるべきである。

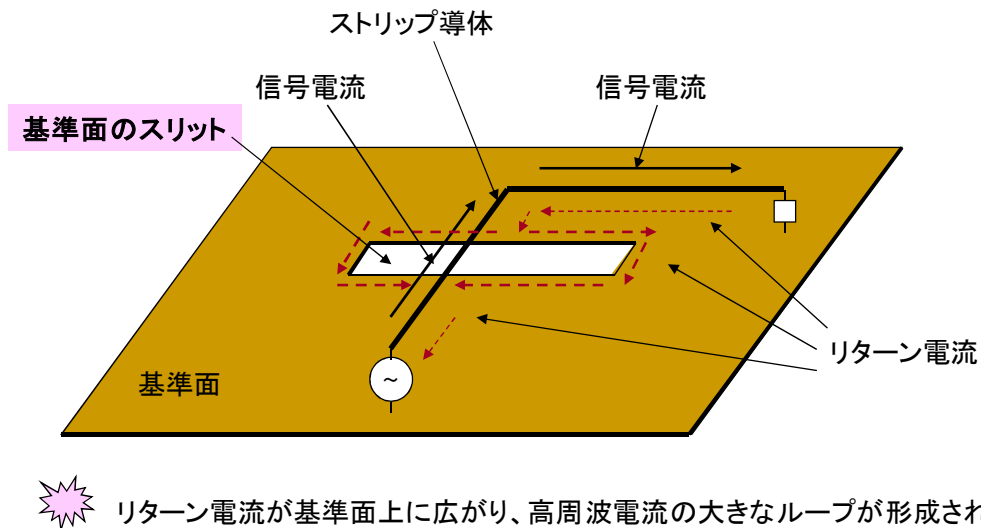


図8 ストリップ導体が基準面スリット直上部を通過した場合の電流の経路

c. クリティカルな配線は基板端部に配置しない

マイクロストリップ線路構成で、基板端部に信号配線を配置したような場合には、配線近傍の電磁界が対称とならず、基準面上に高周波電流が広く分布することになる。特に、クリ

ティカルな配線には、安定した基準面を確保することが必要である。このため、図9に示すように、クロック配線などは、プリント基板端部には配置しないようにする。

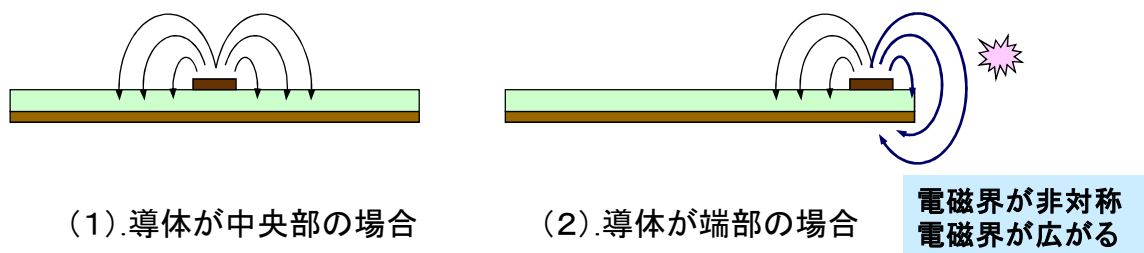


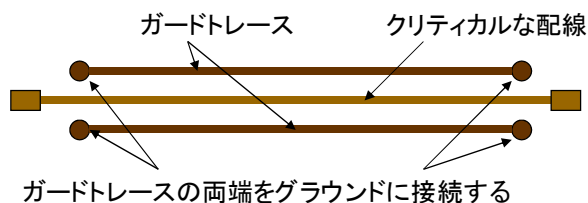
図9 クリティカルな配線は基板端部に配置しない

(4) その他

配線上での配慮には、今まで述べた配線により発生する電磁界の広がりを抑制するガイドラインのほかに、以下のように積極的に電磁界の広がり、あるいは外部からの影響を抑制する配慮設計も必要とされている。

- a. クロックのようなクリティカルな配線にはガードパターンを設ける。
- b. 外部インターフェイス部にフィルタ、ノイズ対策部品を活用し、外部への不要な電磁界の伝搬を抑制する。

a.クリティカルな配線(クロック信号など)には、ガードトレースを



b.外部インターフェイス回路には、適切なノイズ対策部品を

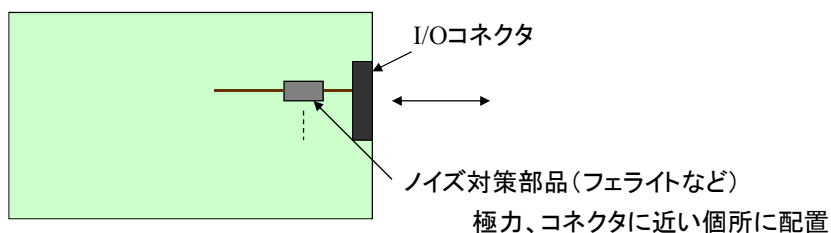


図10 配線への配慮の例

3. 3 グラウンド系の強化

通常、系の中で大きな導体を占めるのは、グラウンド系である。したがって、遠方界への放射となる系の電磁界の空間分布は、ほぼグラウンド系の電磁界分布で決まると考えてよい。

(1) グラウンドの低インピーダンス化

グラウンドはできるだけ、広い面積を確保し、低インピーダンス化することは EMC 対策に限らず回路実装設計の基本である。グラウンドは、回路動作として電位の基準となる部分である。もし、系の中で、回路図上のグラウンドとは別に、電位がより安定している部分、言葉を変えればインピーダンスの最も低い導体があった場合、その導体を実質上、グラウンドとして振舞うことになる。この場合、回路図で想定したグラウンド部は不安定となり、系に不必要な電磁界を分布させる。

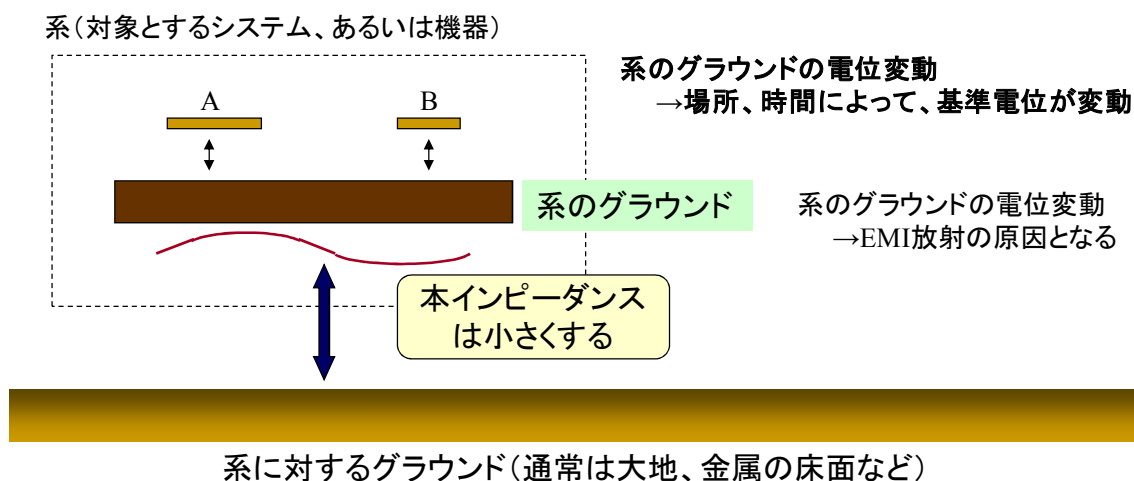


図 11 グラウンドの低インピーダンス化の考え方

(2) 浮いている導体は多点で、グラウンドに確実に接続

グラウンドなどとの接続が充分でない、一般に浮いていると言いかをする導体があると、それ自体がアンテナとして振舞う。あるいは電磁界の結合がしやすくなるため、他との意図しない結合を発生させやすいことになる。

最近、話題になっているものに、LSI の放熱対策のために装着するヒートシンクがある。電気の世界から見ると、浮いた導体が、最も高周波成分を発生する個所に密着して取り付けられていることになる。特に周波数が高くなると、その影響は大きくなる。

したがって、このような導体は、図 12 に示すように、波長に対して十分狭い間隔（一般には、(波長)/20 以下の間隔）で、周辺端部をグラウンドに、しかも確実に接続することが必要である²⁾。

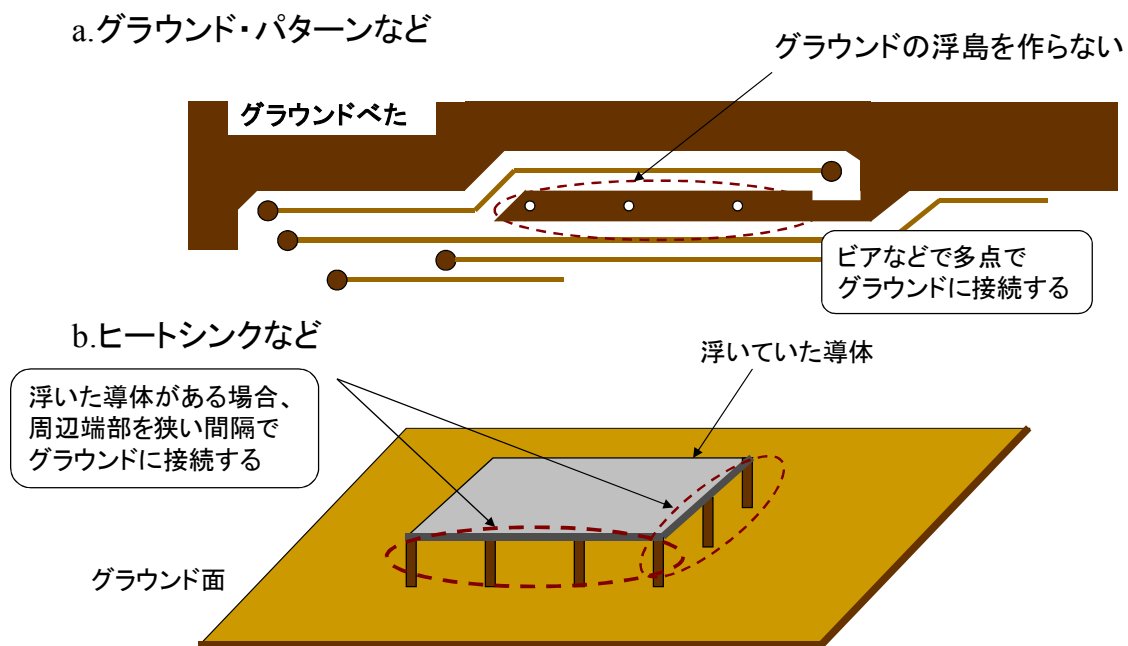


図 12 浮島、浮いた導体の処理

4. EMC 設計に関する落とし穴！

それぞれの企業には、長年の EMC 対策の経験などから、各種多様な EMC 設計基準やノウハウが蓄積されている。

設計基準やノウハウは、次世代の技術者へ、その言語的な表現として伝達されていく。大変な苦勞のもとに得られた貴重な技術情報が、凝縮された言葉で表現されている。活用させてもらう側から見ると、非常にありがたい情報である。ところが、凝縮された言語表現がゆえに、前提としていることなど（通常は、重要なことが多い）が、十分、表現されていないことがある。時として、作成者の意図とは別の意味合いに拡大してしまうこともある。

このような背景から、往々にして発生する紛らわしい事項、勘違いしやすいと思われる事項などを、いくつか取り上げて解説する。

4. 1. 基本的事項

- (1) 回路図から読みとれないもの

- (2) 高周波領域では表記通りの振る舞いをしない電子部品

- (3) 導体の電流分布のパラドックス

- (4) キャパシタンスとは言えない平行平板

(5) 知っておきたい配線インダクタンスの基本

4. 2 SI (信号保全) 関連

- (1) 線路の特性インピーダンス制御の意味

- (2) レイアウト設計で知らぬ間に変えてしまう線路構造

- (3) 単純には考えられない差動線路の最適トレース間隔

4. 3 放射 EMI 関連

(1) 誤解しやすいコモンモードとデファレンシャルモード

(2) 関連があるか 放射 EMI 対策とイミュニティ対策

(3) 放射 EMI 対策と SI 対策 — 最適なダンピング抵抗とは

5. 終わりに

電子機器の動向から、ますます重要となる EMC 設計の要点として、最初に基本的な考え方を確認し、次に、EMC 設計ガイドラインを、プリント基板設計を中心に概説した。最後に、まぎらわしい事項、勘違いしやすい事項等をピックアップし、ポイントをわかりやすく解説した。

EMC 設計が注目されるようになってから久しい。EMC の設計基準、ノウハウなどの解説も充実してきた。これらを適切に活用できれば、その効果は大きい。ところが、一見、常識のように思われていることほど、実は奥が深い。そんなことから、紛らわしい事項、勘違いしやすい事項に、特にスポットを当て、できるだけわかりやすく解説したつもりである。この中には、一時期、筆者自身が混乱した内容も含まれている。本稿が、EMC 設計に携わる技術者に何らかの参考となれば幸いである。