

やさしいEMCの基礎

- 規格概要から具体的な評価手法まで

ローデ・シュワルツ・ジャパン
T&M カスタマーサポート部
アプリケーションエンジニア

小杉 和則
EMC-0027390NE

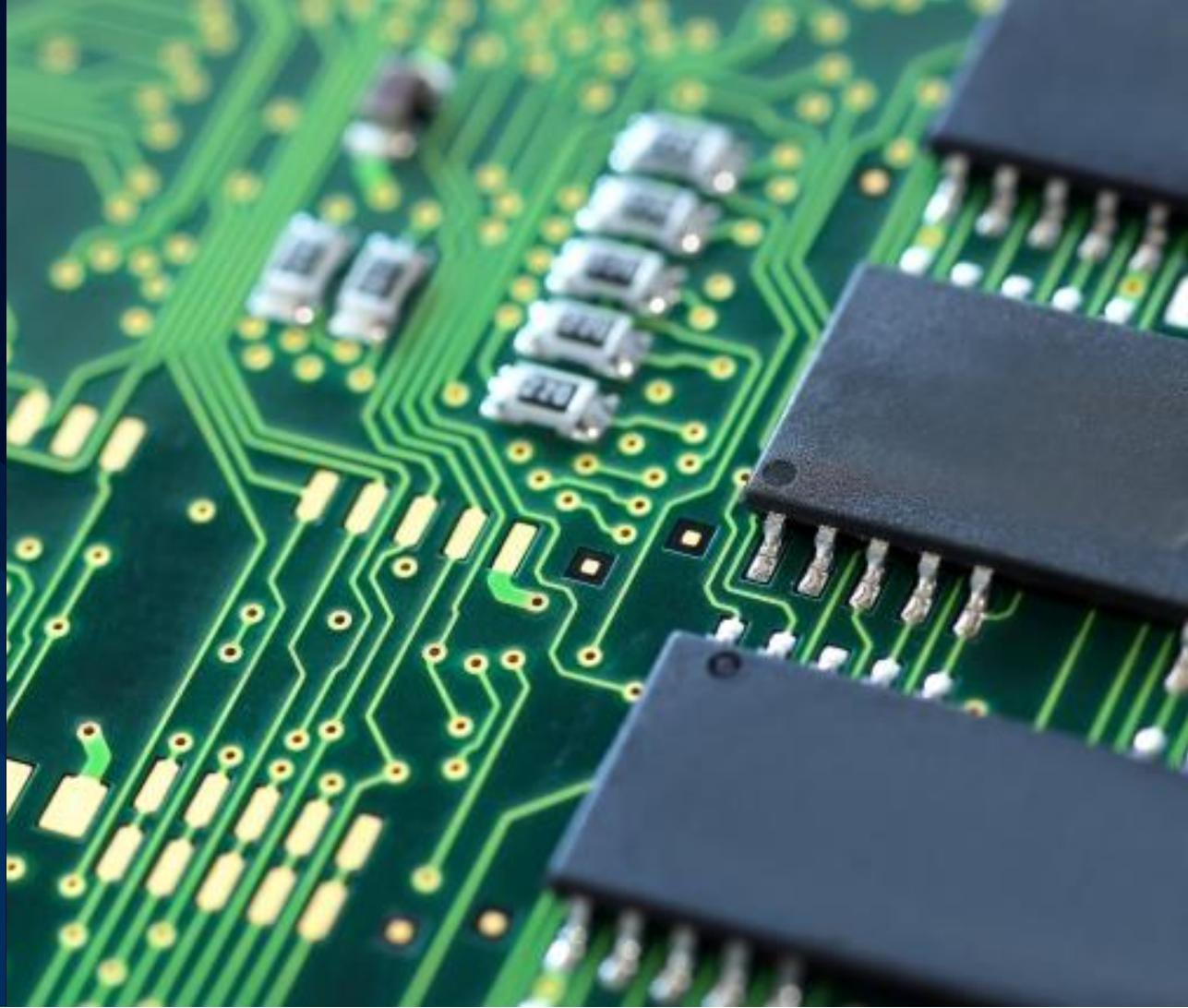


ROHDE & SCHWARZ

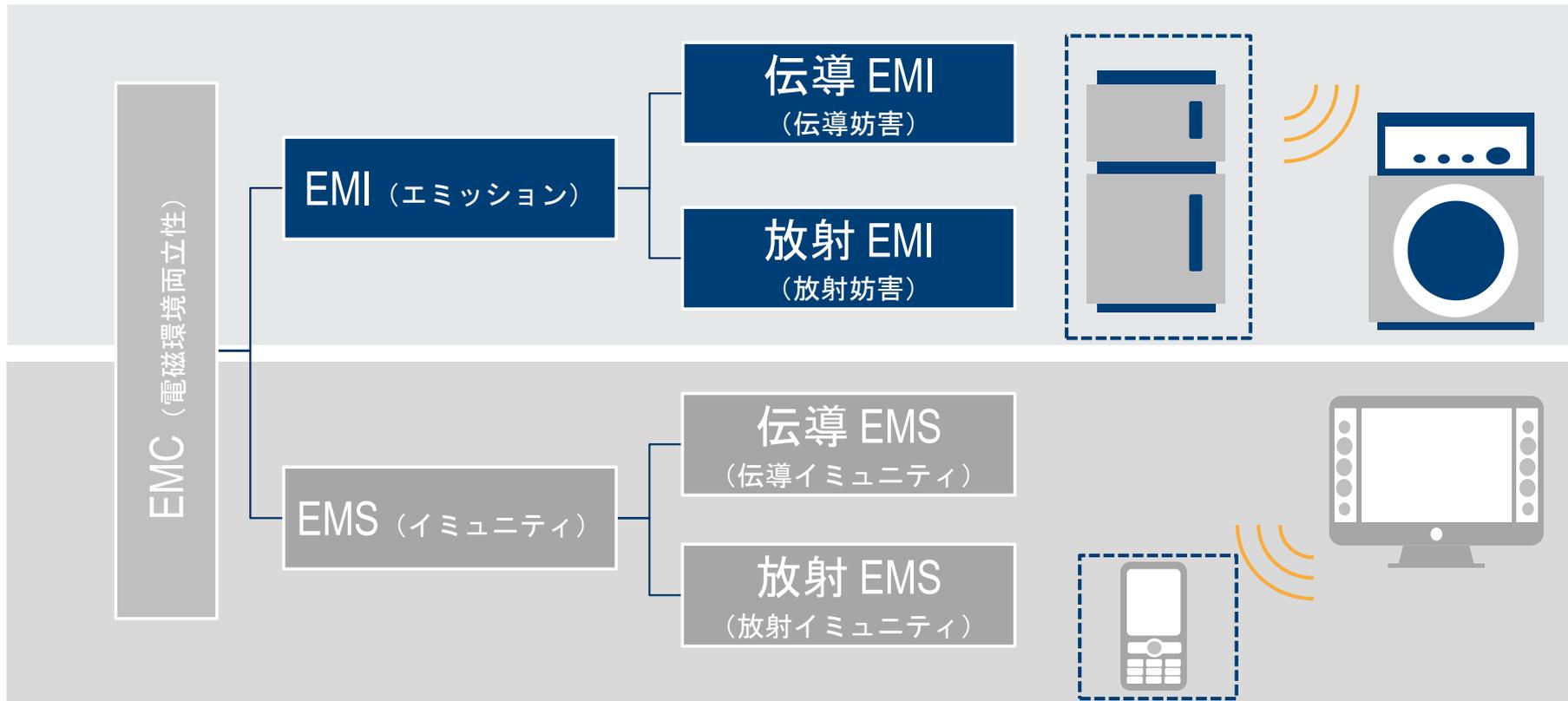
Make ideas real



EMCの キーワード



EMCのキーワード



EMCのキーワード エミッションの形態

EMI (電磁干渉)

放射 EMI

- ▶ 磁界放射
- ▶ 電界放射

伝導 EMI

- ▶ 電圧妨害
- ▶ 電流妨害
- ▶ 電力妨害



EMCのキーワード イミュニティの形態

EMS (電磁感受性)

放射 EMS

- ▶ 放射イミュニティ
- ▶ 静電気放電イミュニティ

伝導 EMS

- ▶ 伝導イミュニティ



EMCのキーワード 規格 (国際 / 国家)

国際標準化機構 (ISO)

国際電気標準会議 (IEC)

国際無線障害特別委員会
(CISPR)



連邦通信委員会 (FCC)



欧州電気標準化委員会
(CENELEC)



中華人民共和国国家標準
(GB - GuoBiao)



インド標準規格 (BIS)



EMCのキーワード

EMC規格の階層

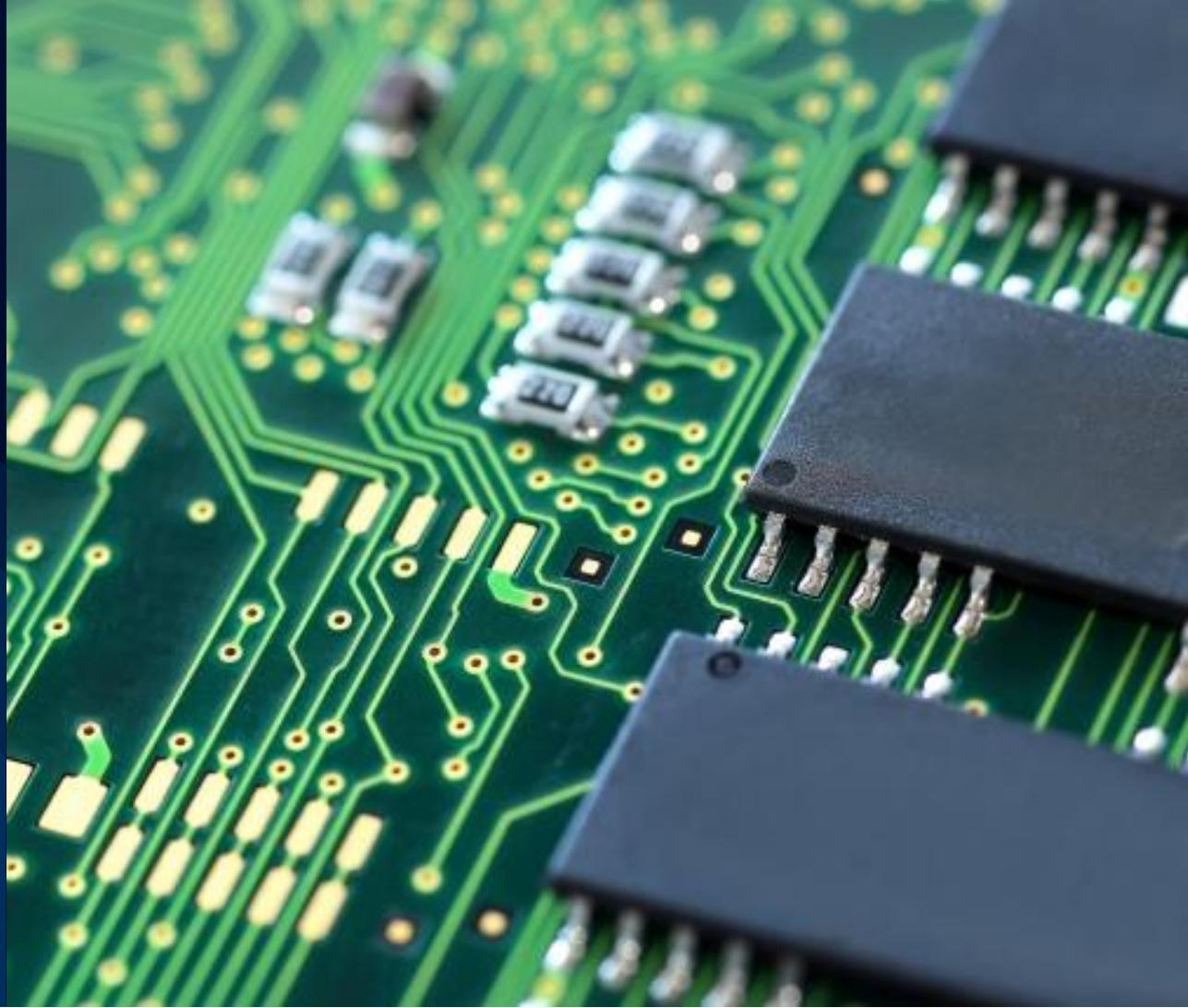


対象となる製品に合わせた測定法および限度値
(例 CISPR 11/15/32)

適用対象が製品の使用環境で分けられた規格
(例 IEC 61000-6-x)

基本規格は主に試験方法が書かれており、
その試験方法を使用して試験を実施する規格
(例 CISPR 16-2-3)

EMC試験の内容



EMC試験の内容 CISPRの各委員会

CISPR A



無線妨害波測定及び統計的手法

例：CISPR 16-1-1

CISPR B



工業、科学及び医療用高周波装置からの妨害並びに電力線、高電圧及び電気鉄道からの妨害

例：CISPR 11

CISPR D



自動車及び内燃機関に関する妨害及び車載受信機の保護

例：CISPR 12, CISPR 25

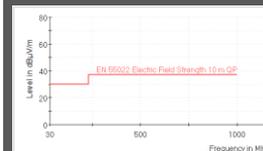
CISPR F



モーター及び接点装置を内蔵している機器、照明装置及び類似のものからの妨害並びにコミュニティ

例：CISPR 14, CISPR 15

CISPR H



無線通信保護のための妨害波許容値

CISPR I



マルチメディア機器等の妨害及びコミュニティ

例：CISPR 22, CISPR 32

※総務省ホームページ参照

EMC試験の内容

CISPR EMI 規格 (民生規格)

CISPR 11



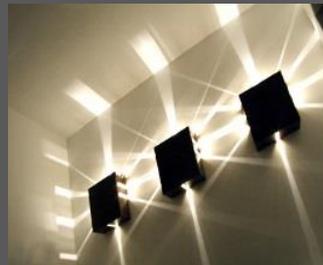
産業、科学、医療用

CISPR 14-1



家庭用

CISPR 15



照明用

CISPR 32



マルチメディア用

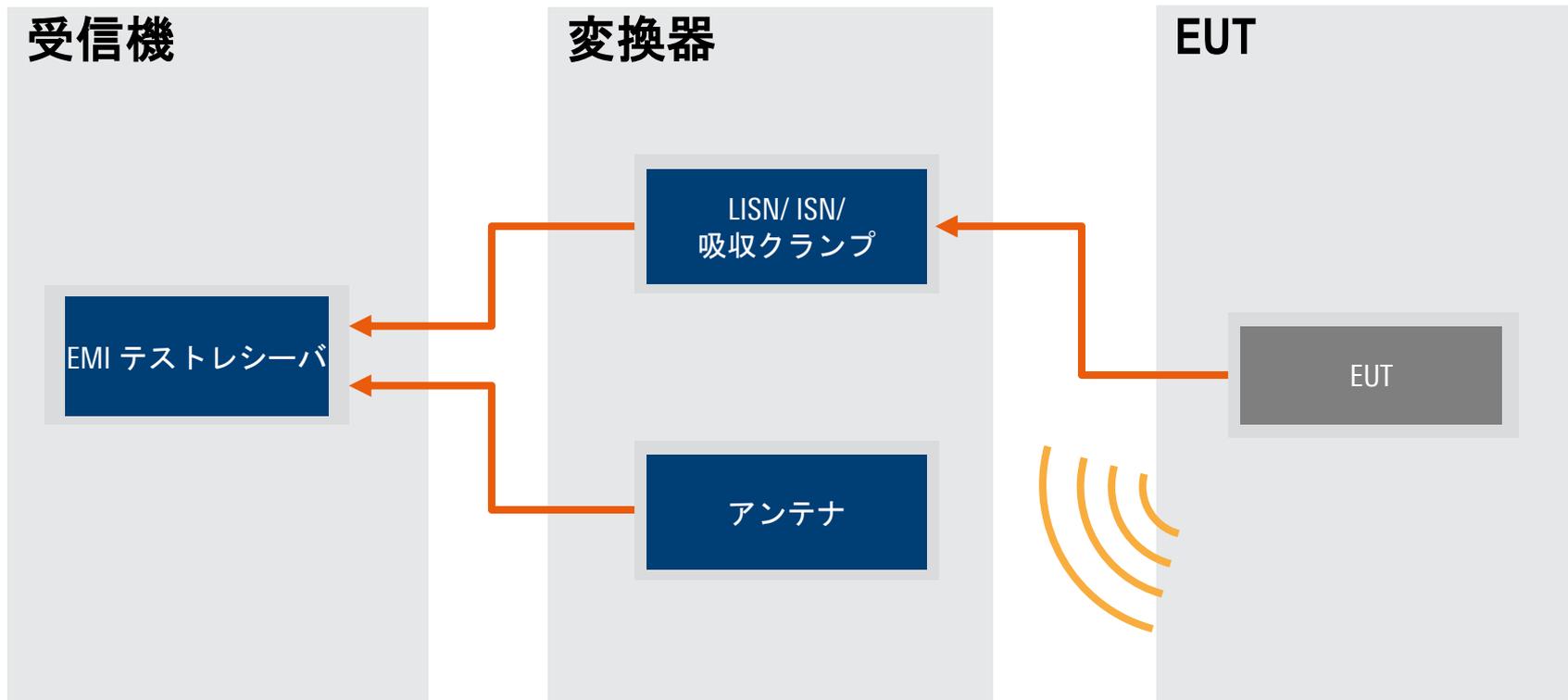
EMC試験の内容

各製品規格と試験内容の一例

	CISPR 11 産業、科学、 医療用	CISPR 14 家庭用	CISPR 15 照明用	CISPR 32 マルチメディア用
伝導 EMI (メインポート)	✓	✓	✓	✓
伝導 EMI (テレコムポート)				✓
放射 EMI (磁界)	✓	✓	✓	
放射 EMI (電界)	✓	✓	✓	✓
雑音電力妨害		✓		

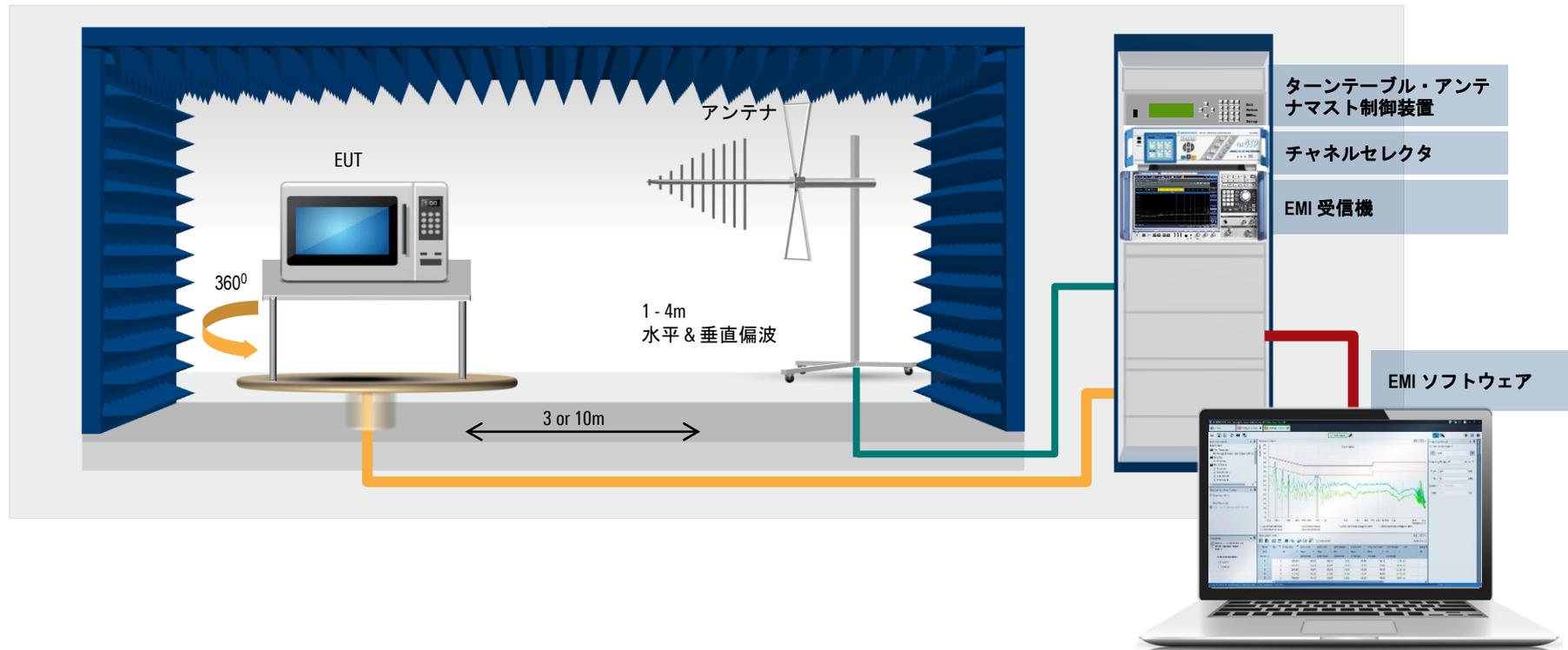
EMC試験の内容

EMI測定系の構成



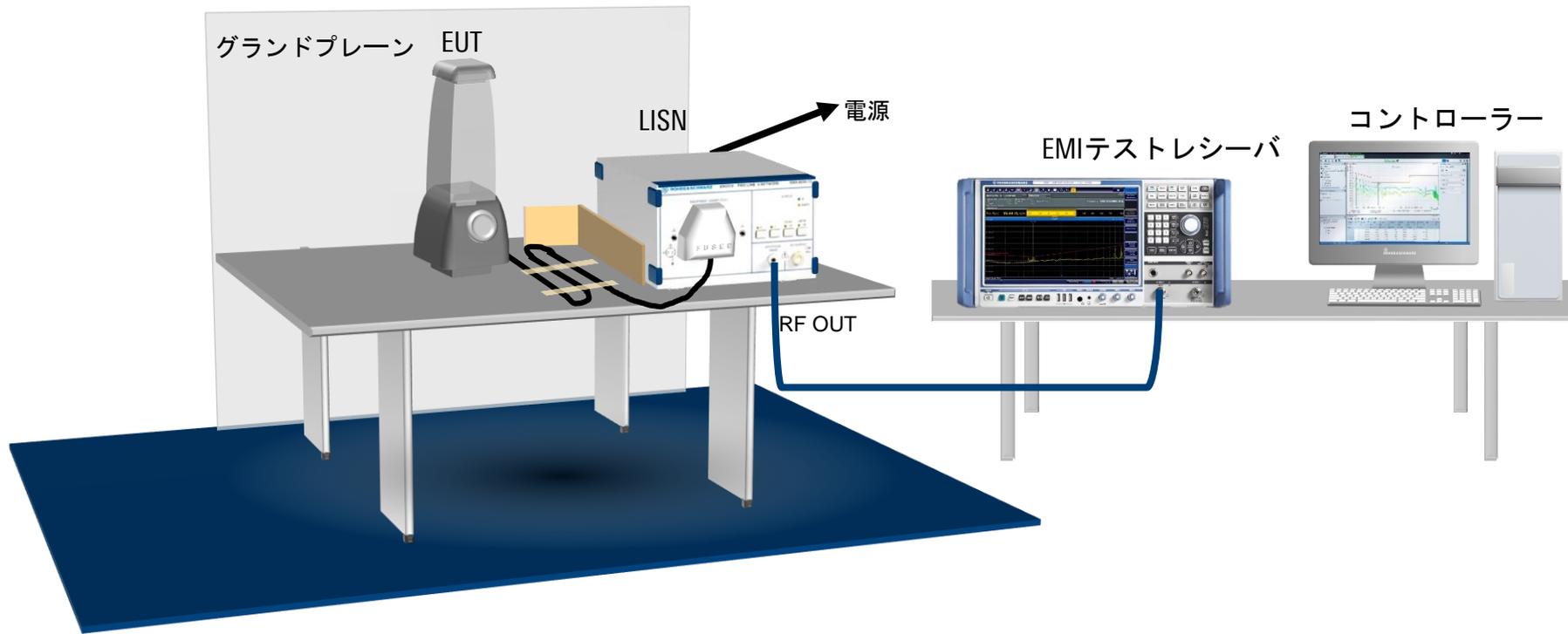
EMC試験の内容

放射エミッション (EMI) コンプライアンステスト

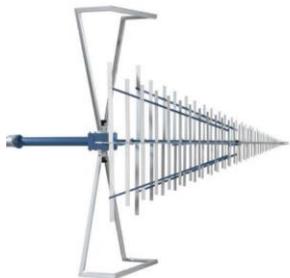


EMC試験の内容

伝導エミッション (EMI) コンプライアンステスト



EMC試験の内容 変換器



アンテナ - 電界放射



アンテナ - 磁界放射



擬似回路ネットワーク - 伝導電圧



ISN - 伝導性電圧

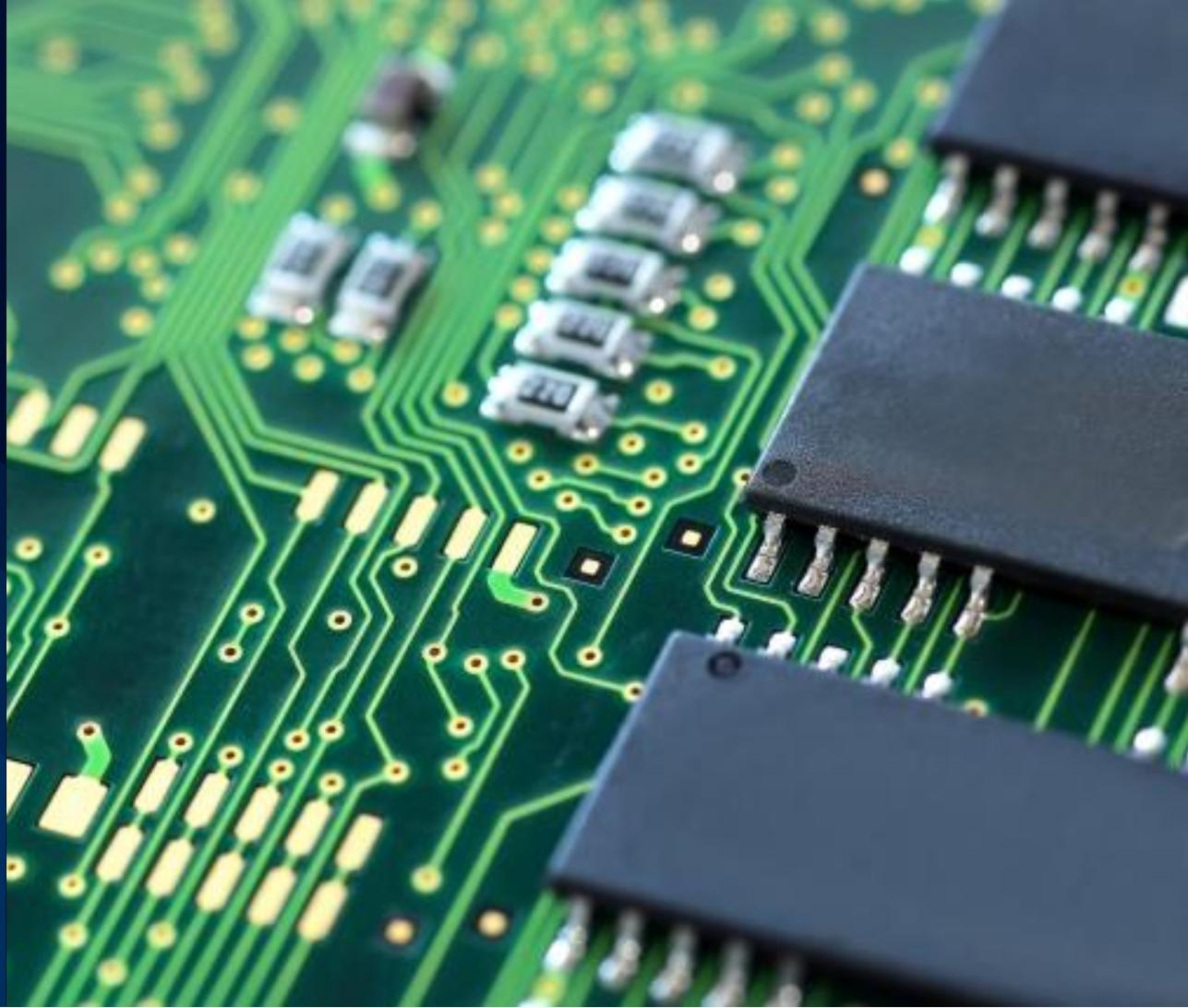


電流プローブ - 伝導性電流



吸収クランプ - 雑音電力

EMC測定由来



EMC測定由来

- ▶ AMラジオ：振幅変調であるため、放送波に重畳したノイズが音として聞こえてしまう



パリパリ！
バリバリ！



るさい・・・

AMラジオでノイズを聞いた不快度を数値化「QP検波」

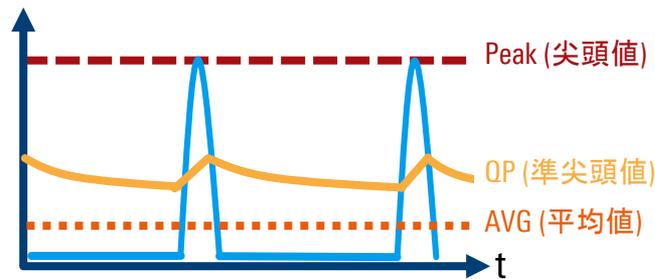
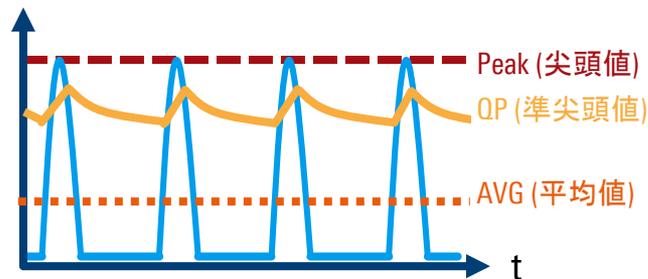
Source:

DC

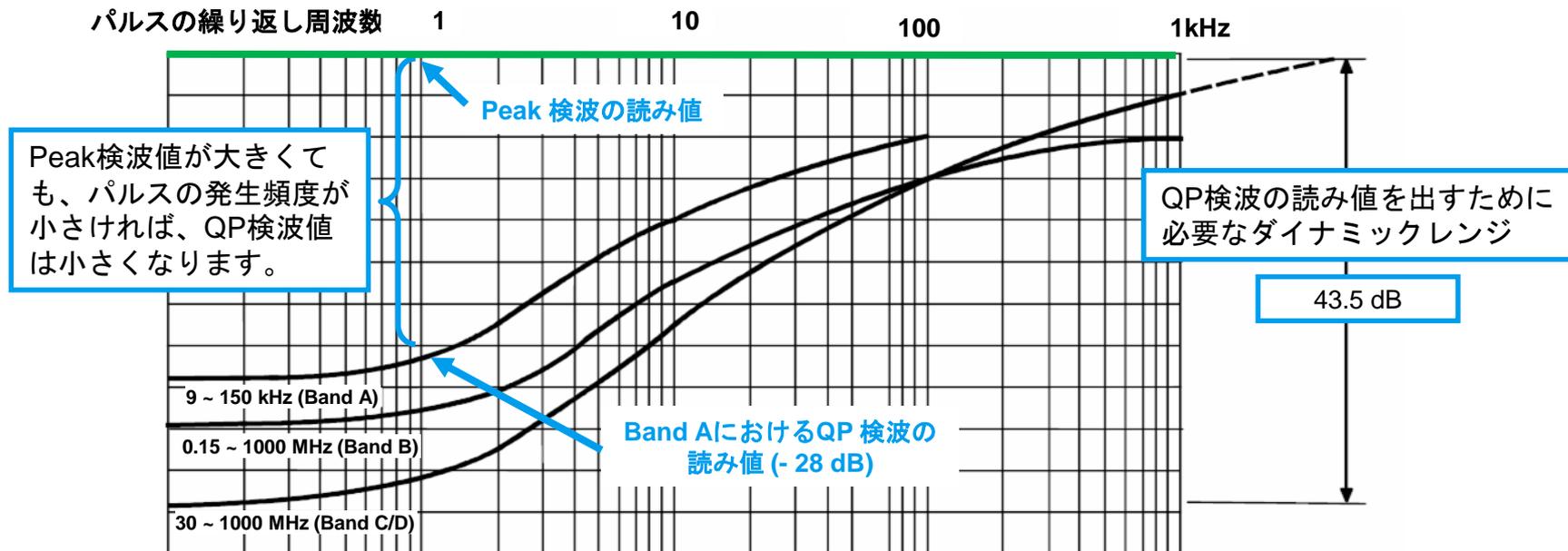
ノイズの発生頻度（1秒間に何回聞こえる？）が「不快度」との相関

QP (準尖頭) 値

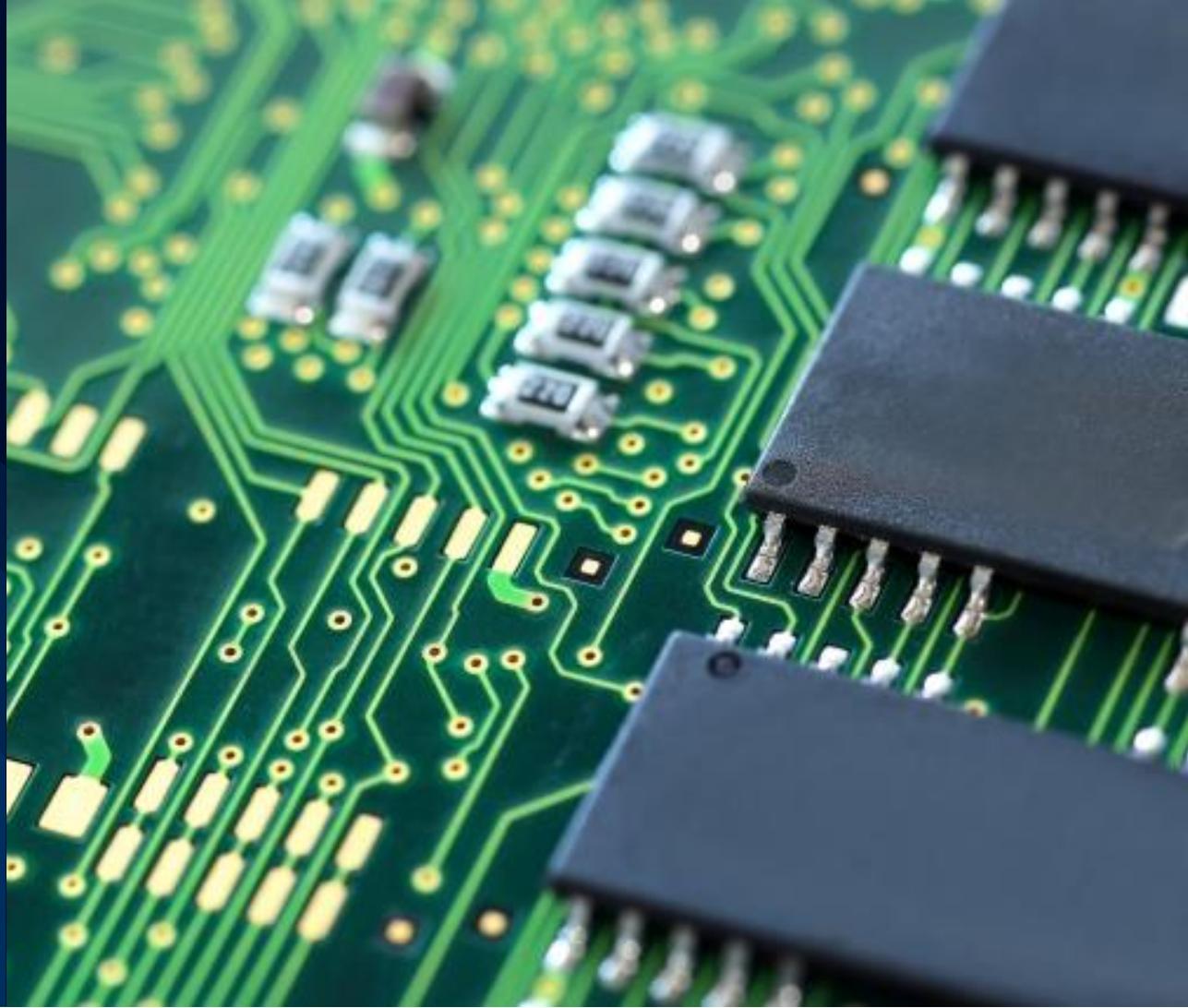
- ▶ QP値とは、「Peak(尖頭)値ではない」、または「Peak値に向かっているが、実際にはPeak値ではない」ことを意味します
- ▶ QP検波器は、AMラジオ局のインパルス性干渉を聞いているリスナーが経験する主観的な不快感レベルをより適切に示すと考えられていました



QP検波とは

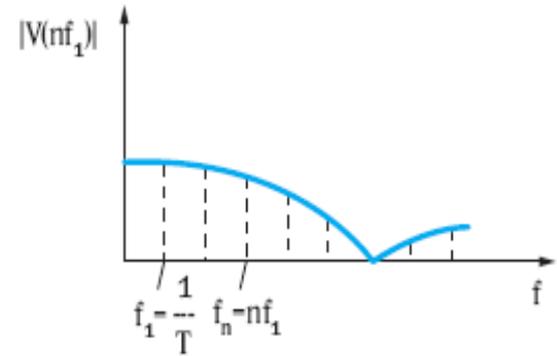
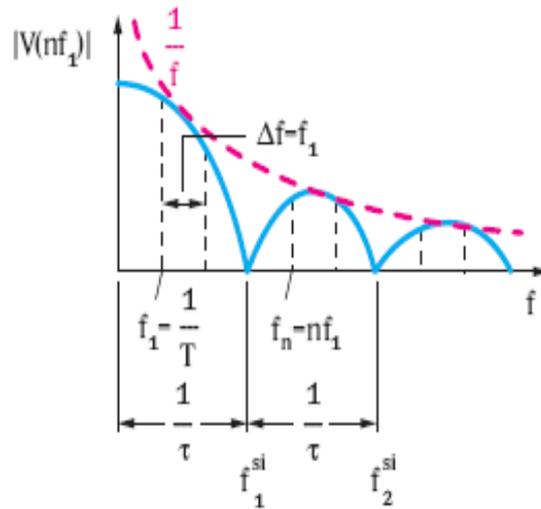
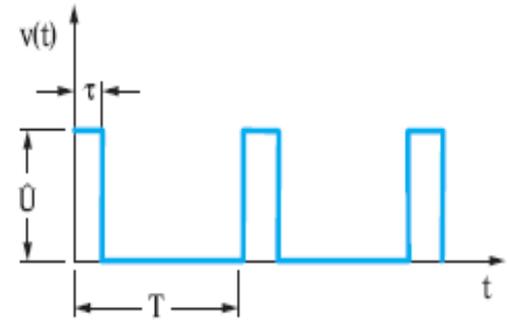
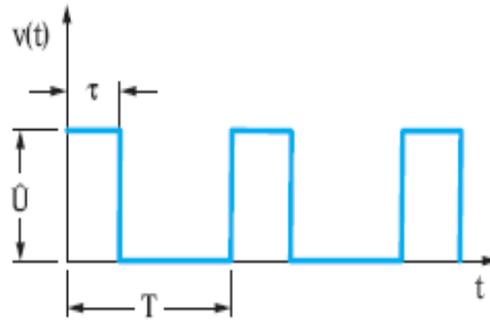


ノイズの種類



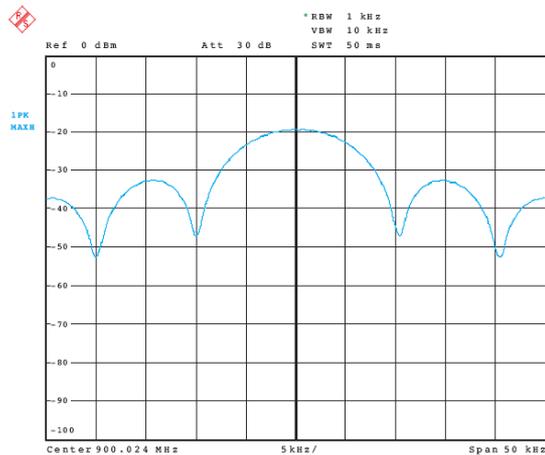
広帯域ノイズ

- ▶ 広い範囲の周波数に渡って妨害となるノイズ
 - モータ回転時におけるブラシの接触や、スイッチの開閉時に発生するパルス信号などが原因

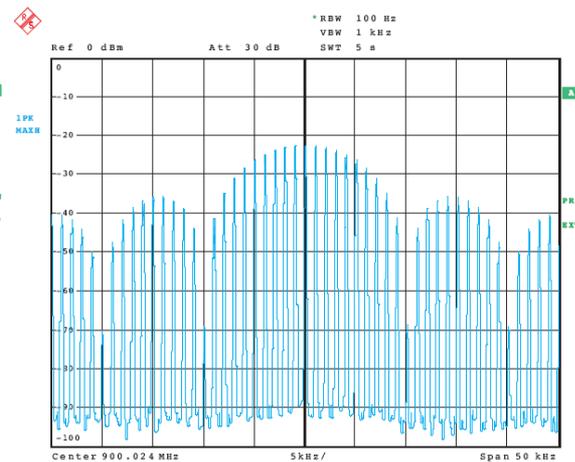


広帯域ノイズ

- ▶ パルス性のノイズは、観測帯域「RBW」の設定によって、「広帯域」あるいは「狭帯域」として観測されるため注意が必要



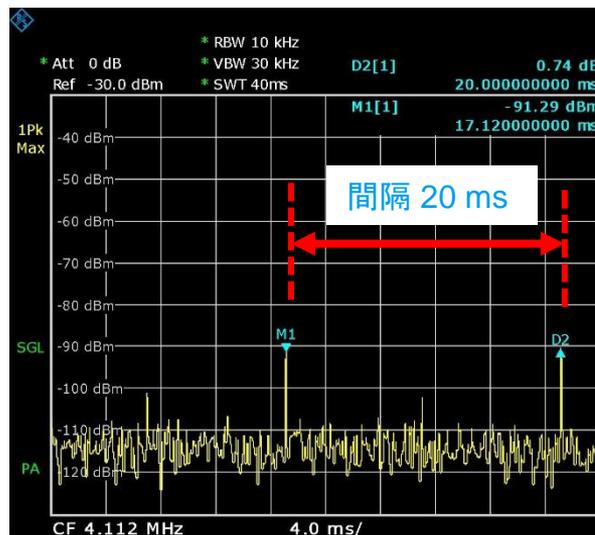
RBW > 1/T (パルス周期)
包絡線スペクトラム
(パルス・スペクトラム)



RBW < 1/T (パルス周期)
線スペクトラム
(ライン・スペクトラム)

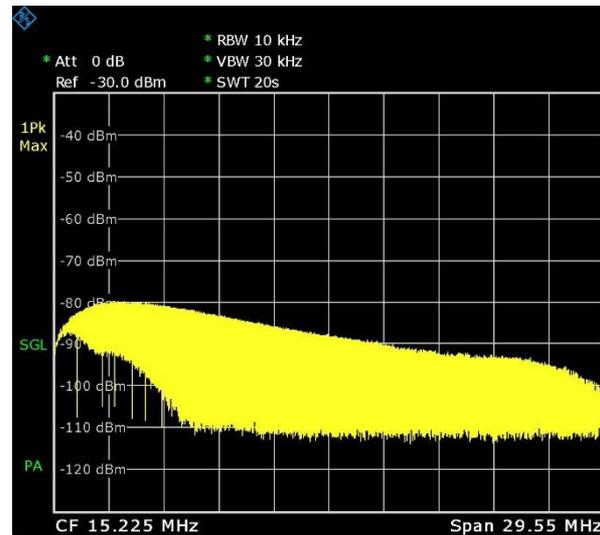
広帯域ノイズ

▶ LED調光器からの放射ノイズの測定例



Date: 1.MAR.2013 19:25:54

20ms間隔で
スパイク状ノイズが発生

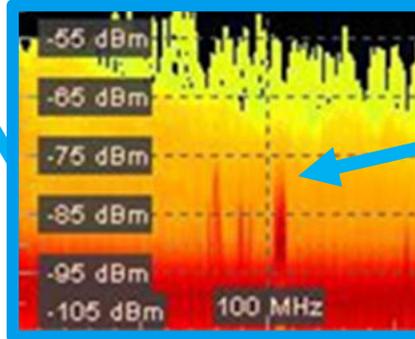
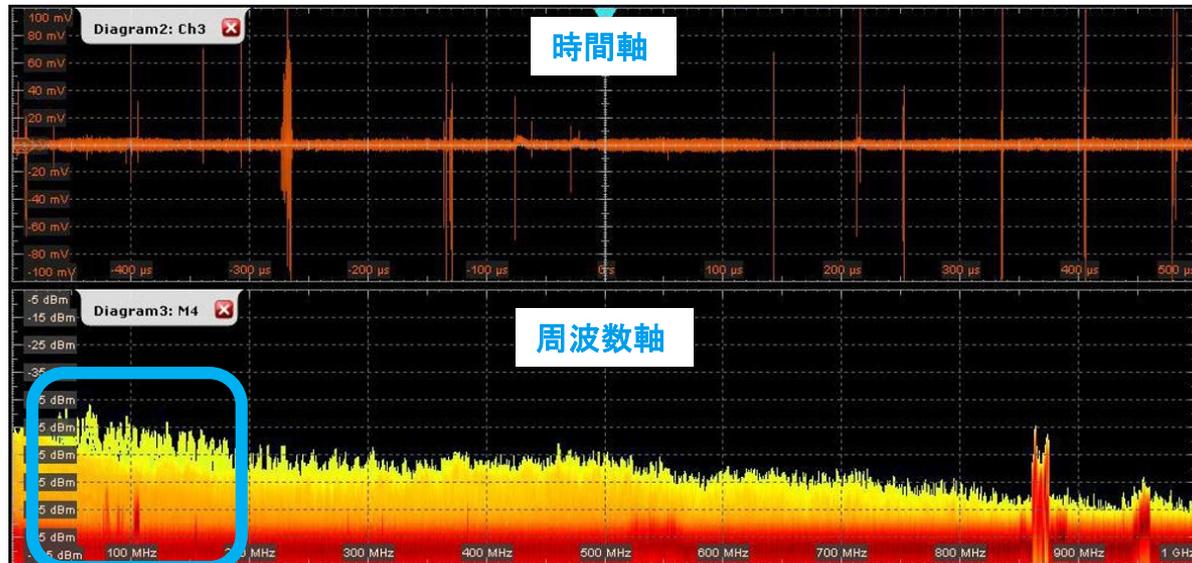


Date: 1.MAR.2013 19:33:38

広範囲な周波数にわたり
ノイズを放射している

広帯域ノイズ

▶ ステッピングモーターからのノイズ測定例

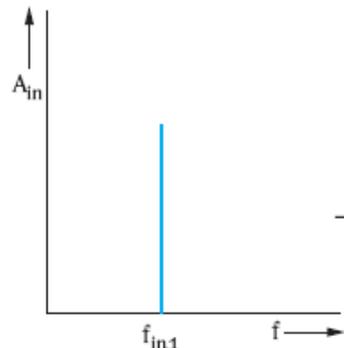


間欠性の広帯域パルスノイズに隠れてしまった、連続性の狭帯域ノイズ

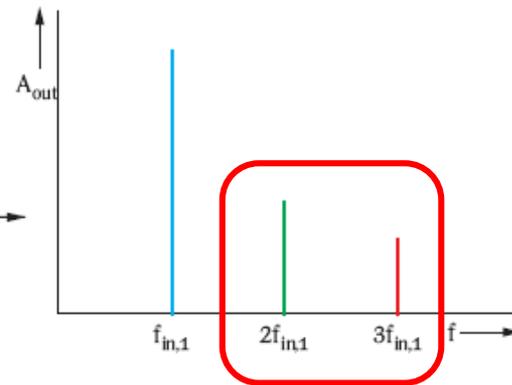
カラーグレード機能により発生頻度で色分け表示することで観測が可能

狭帯域ノイズ

- ▶ ある決まった周波数において、持続的な妨害波となるノイズ
 - クロック信号の高調波などが原因

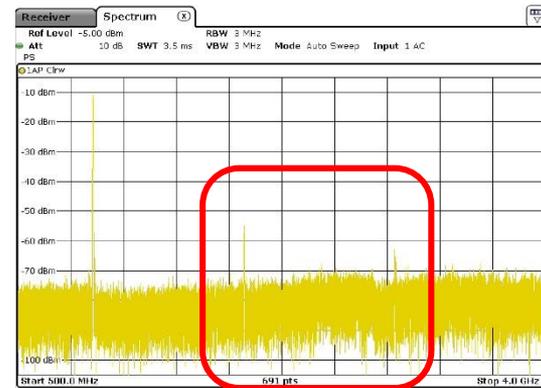
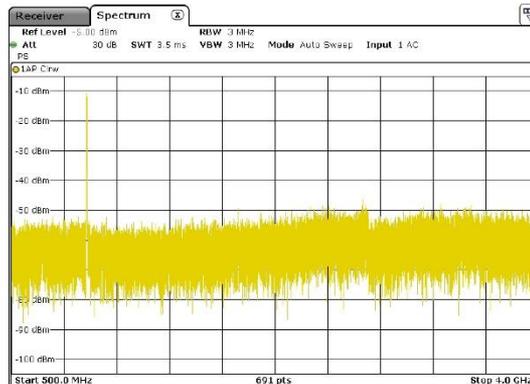


非線形増幅器

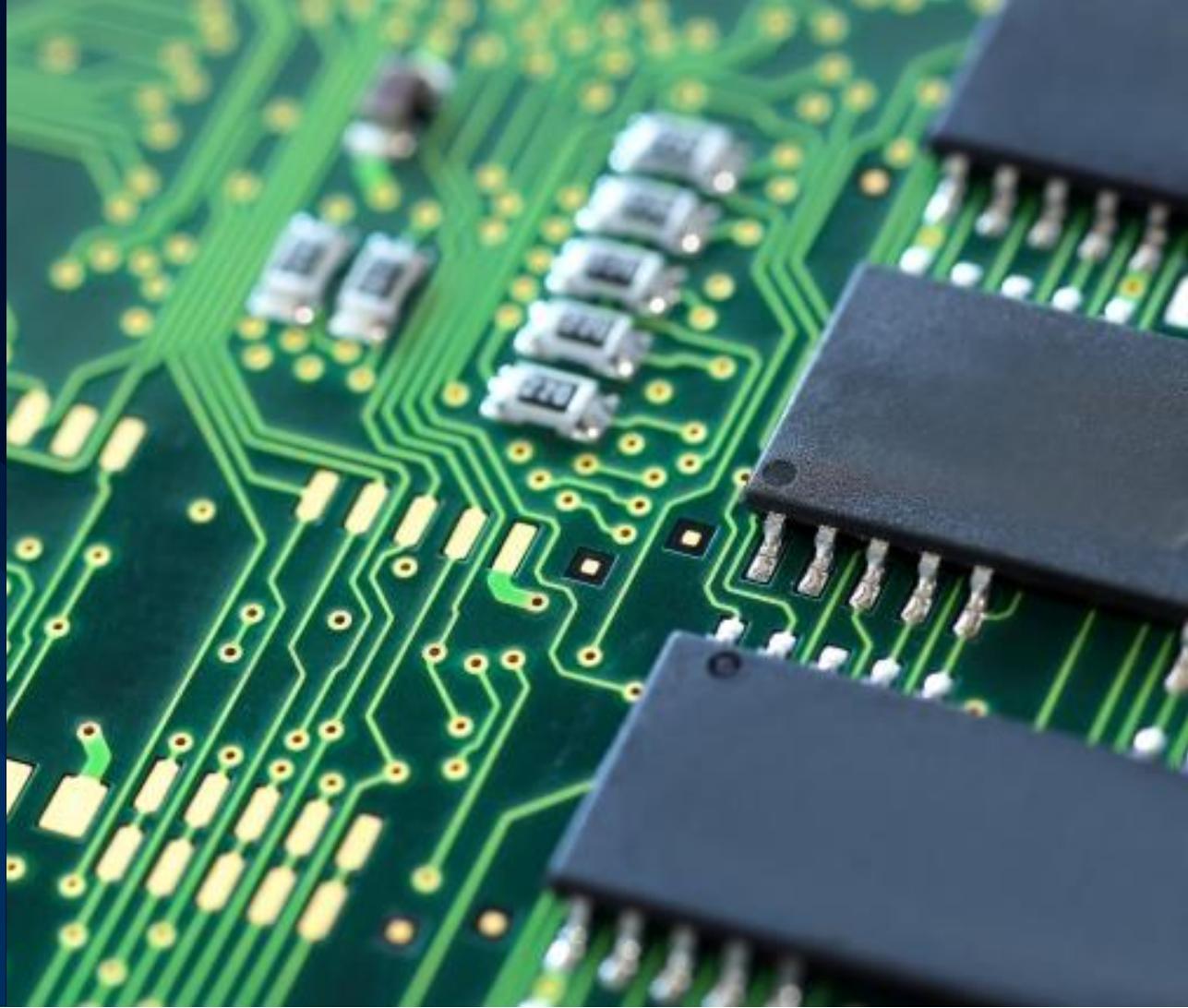


入力: サイン波

出力: 基本波 + 高調波歪み

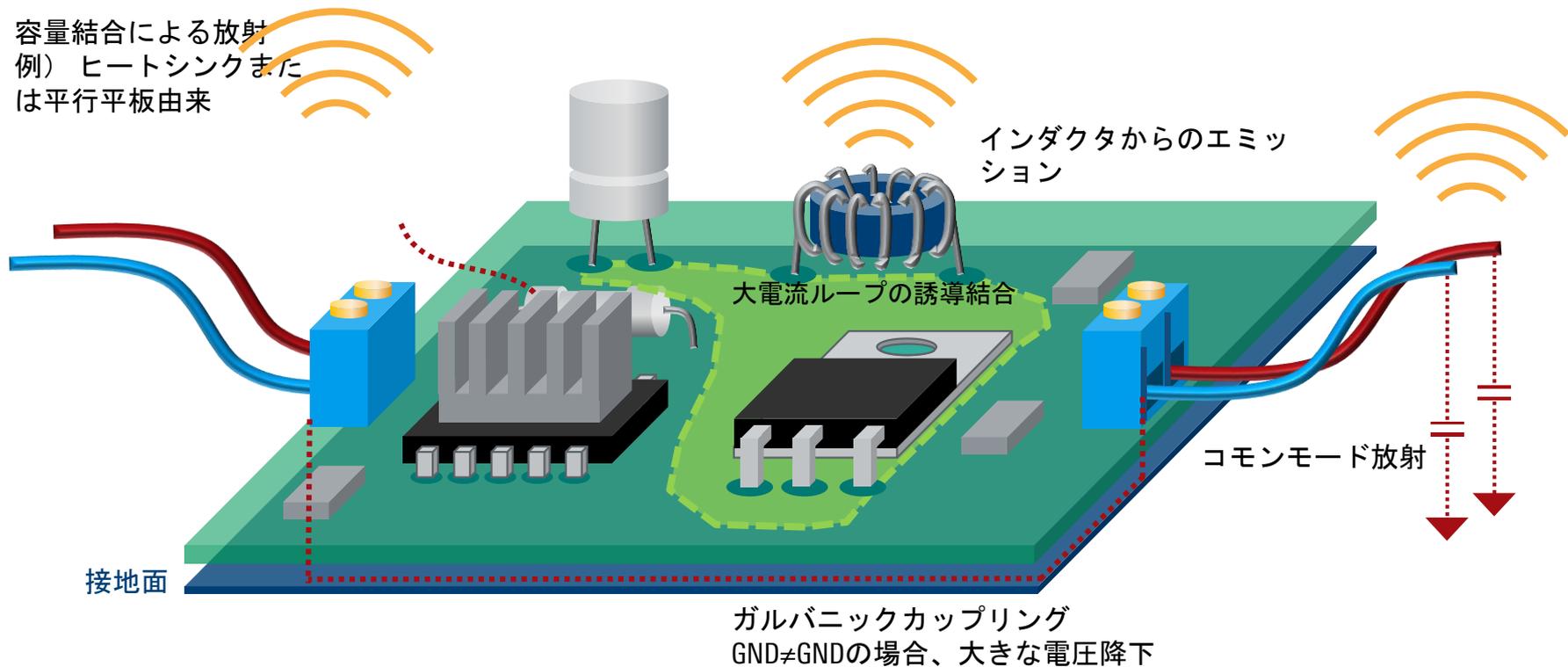


EMC对策



ノイズの発生原因

容量結合による放射
例) ヒートシンクまたは平行平板由来



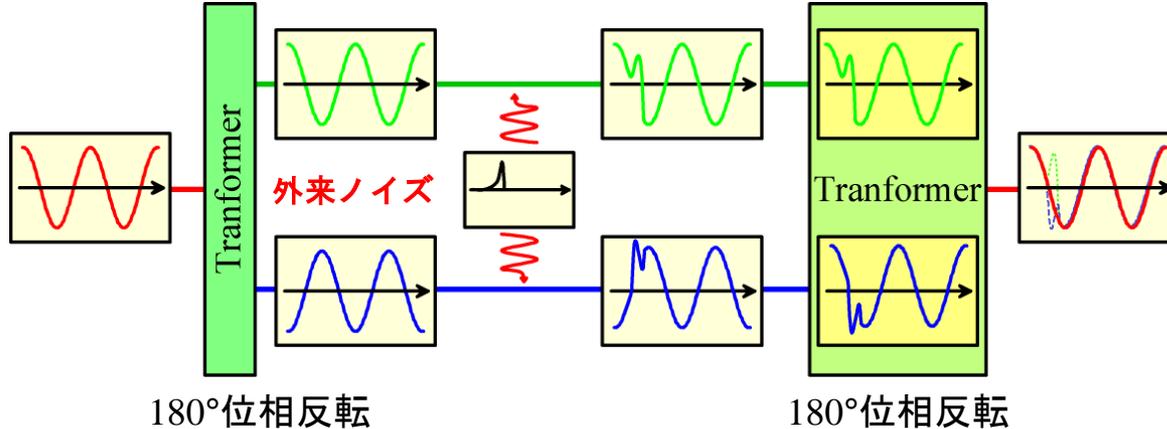
差動信号による伝送 コモンモード放射とは？

理想状態

- ▶ 2本の伝送ラインに同振幅逆位相の信号を印加
- ▶ 2信号の差分電圧でコモンノイズはキャンセル
- ▶ 消費電力の低減が可能
- ▶ 電流が逆向きに流れるため磁界が相殺

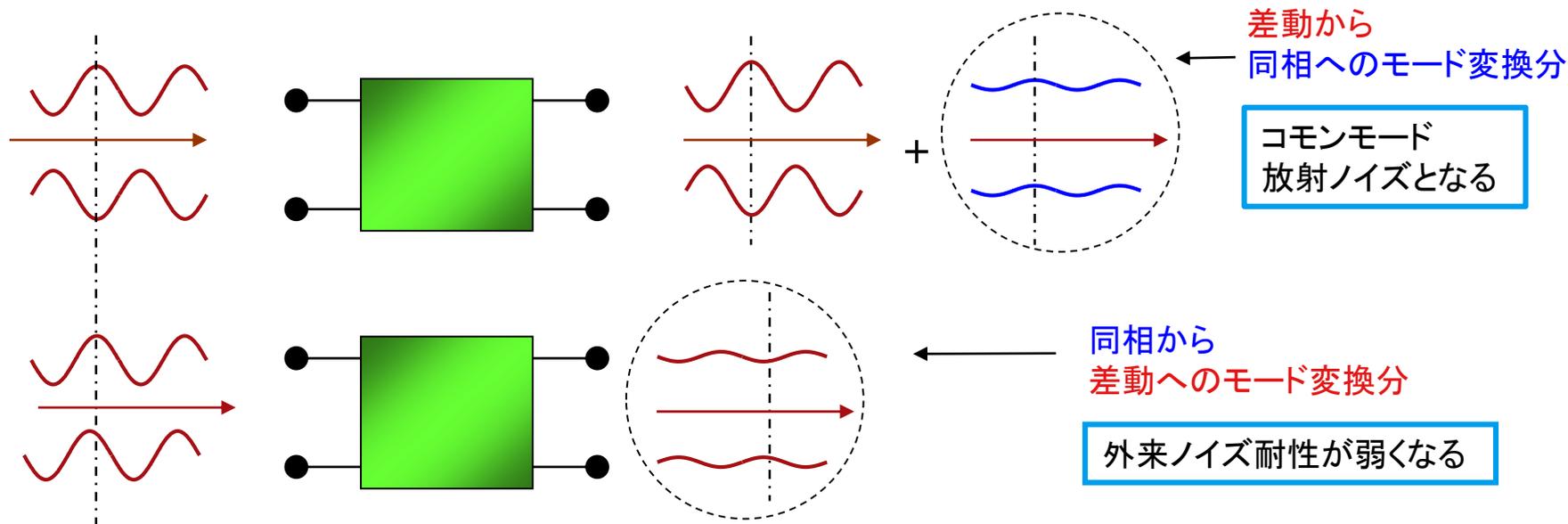
現実世界

- ▶ 伝送線路間の電磁干渉（クロストーク）
- ▶ 周辺機器からのノイズ
- ▶ ノイズ放射（アンテナ化）
- ▶ スキューによるコモンノイズ



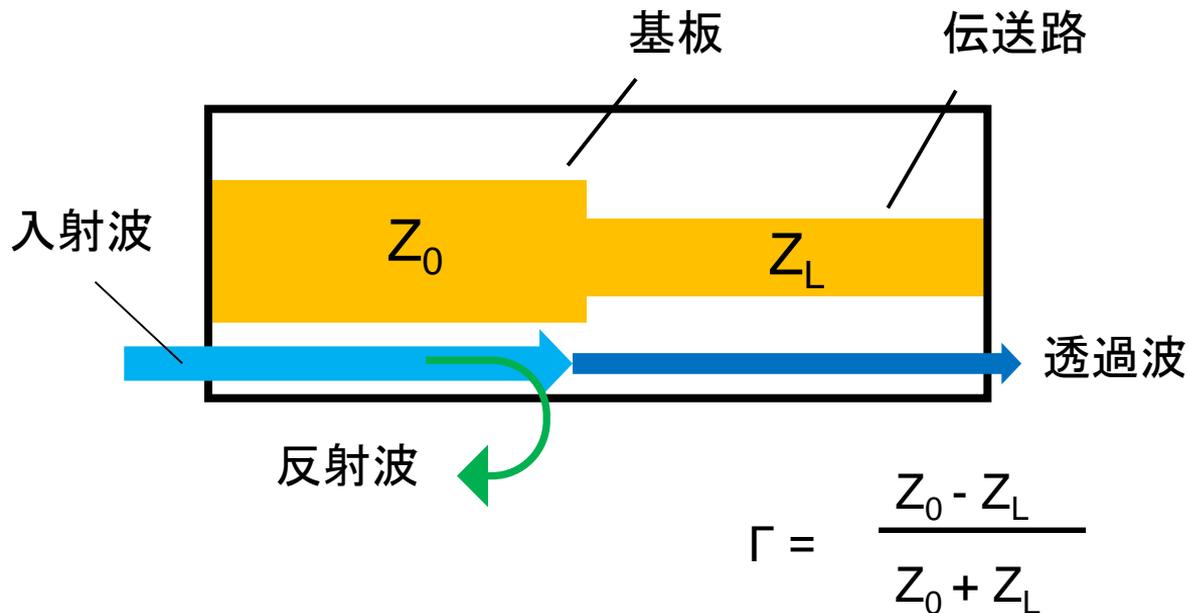
差動信号による伝送 伝送路内のモード変換

- ▶ 差動信号が同相にモード変換された信号はノイズとして放射される
- ▶ 同相信号が差動にモード変換された信号により差動デバイスのSN比の悪化が生じる



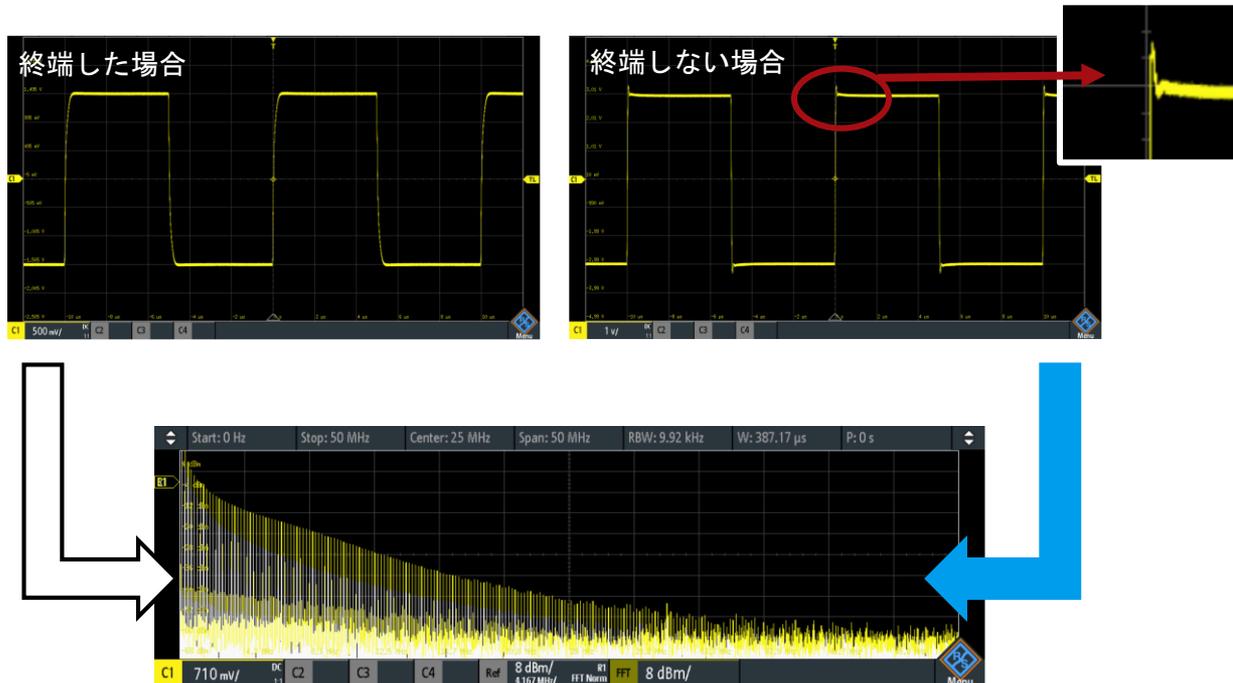
高速スイッチング インピーダンス不整合による反射信号の影響

- ▶ 高速スイッチング、つまり高周波成分を含む信号の伝送路での振る舞いに注意が必要
- ▶ インピーダンス不整合があると反射が発生し、電力が全て伝わらない



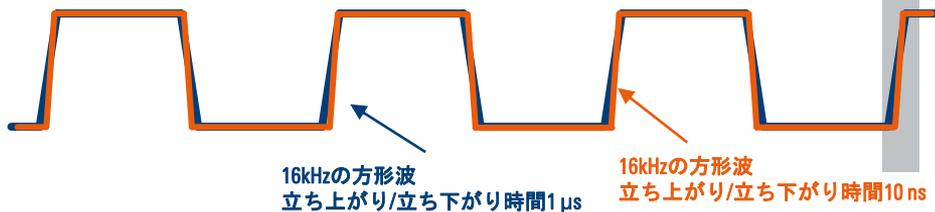
高速スイッチング インピーダンス不整合による反射信号の影響

- ▶ 同軸線路の片側を終端しない場合、反射信号の高周波成分によるリングングが発生

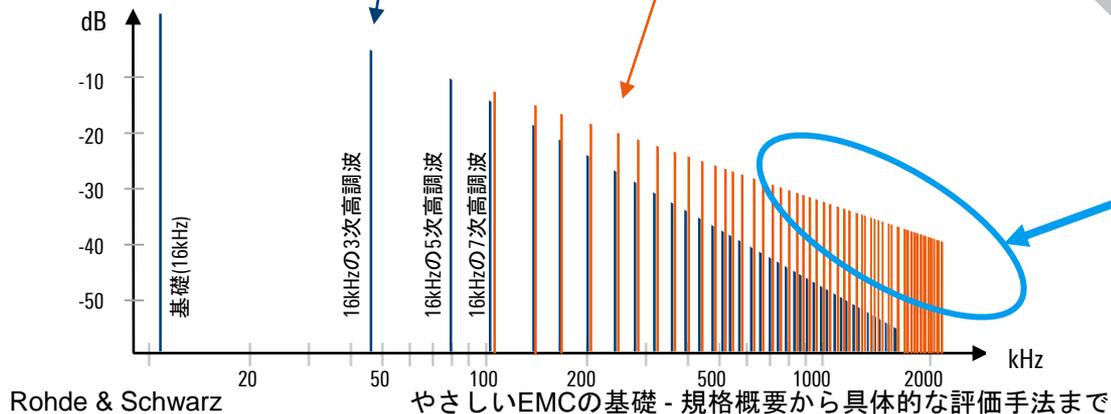


高速スイッチング 急峻なエッジがEMIに与える影響

時間ドメイン

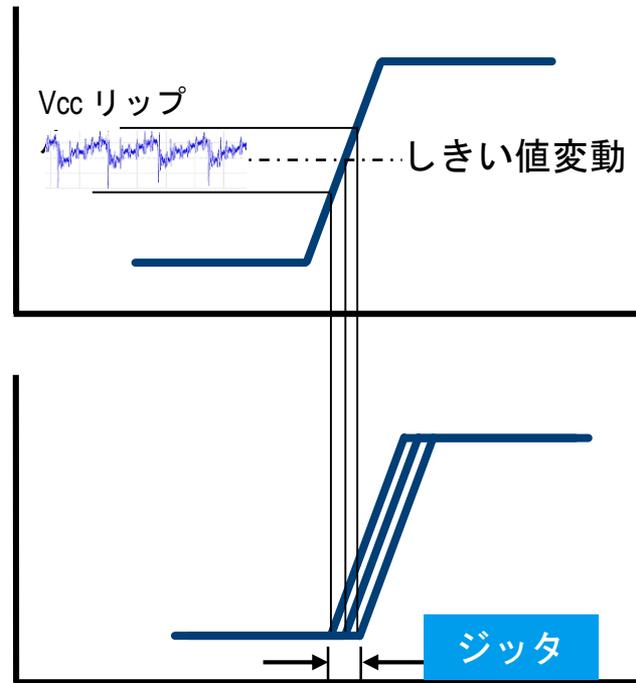
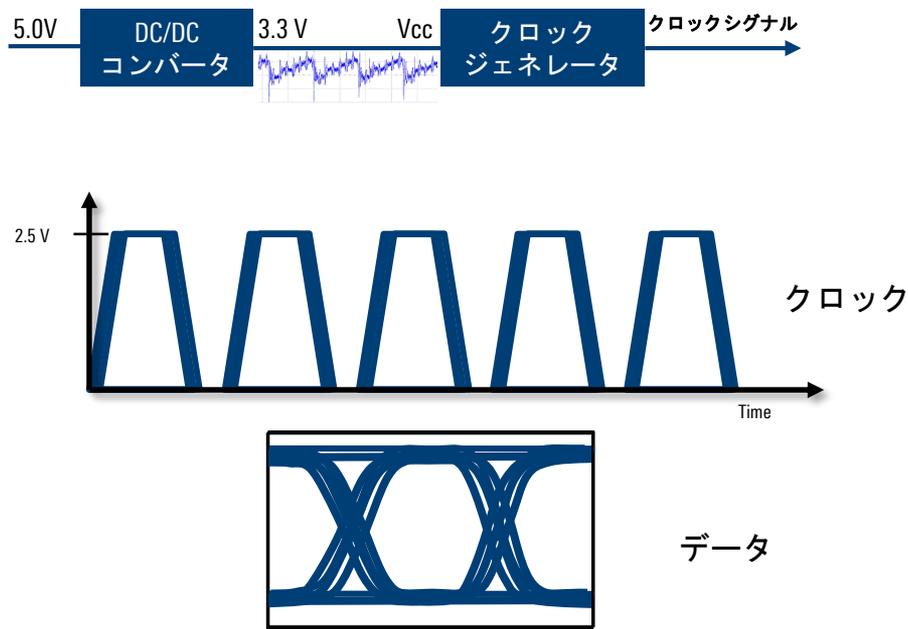


周波数ドメイン

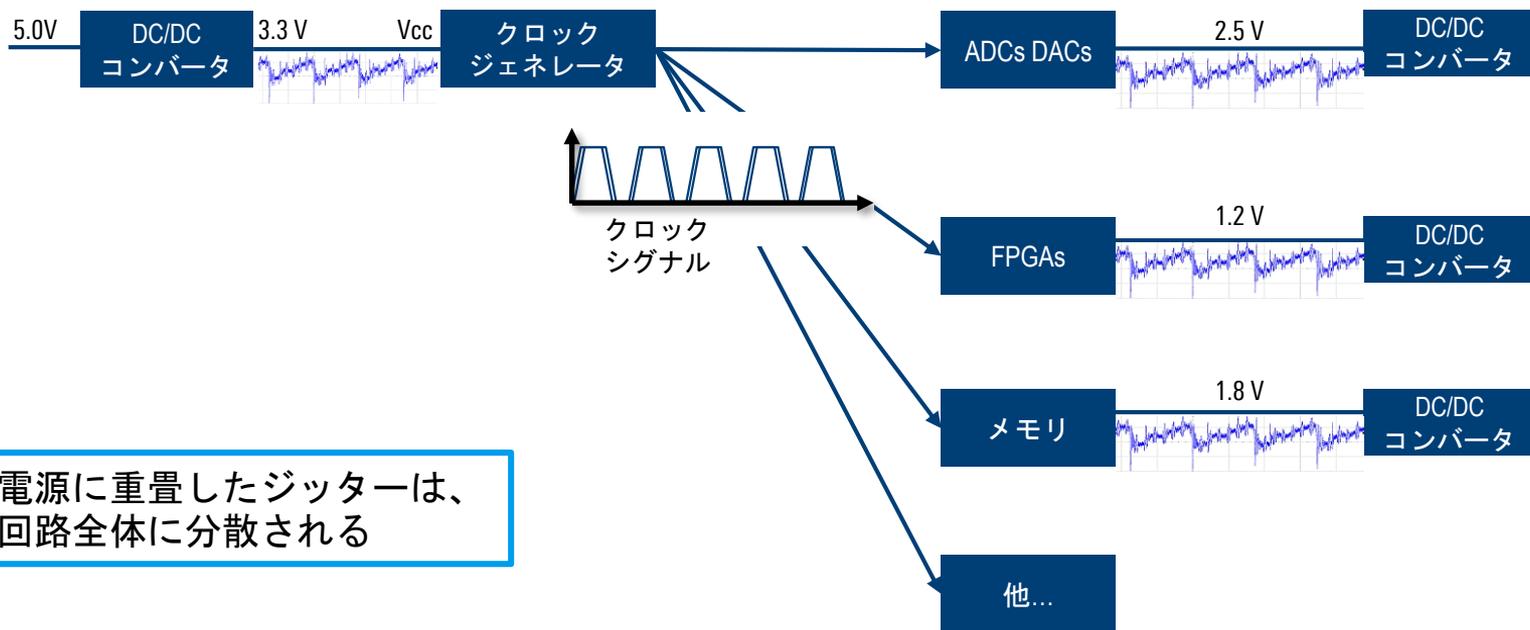


高周波の高調波信号レベルは、より高いものとなる

電源回路のEMIは特に重要 シグナルインテグリティの低下と影響



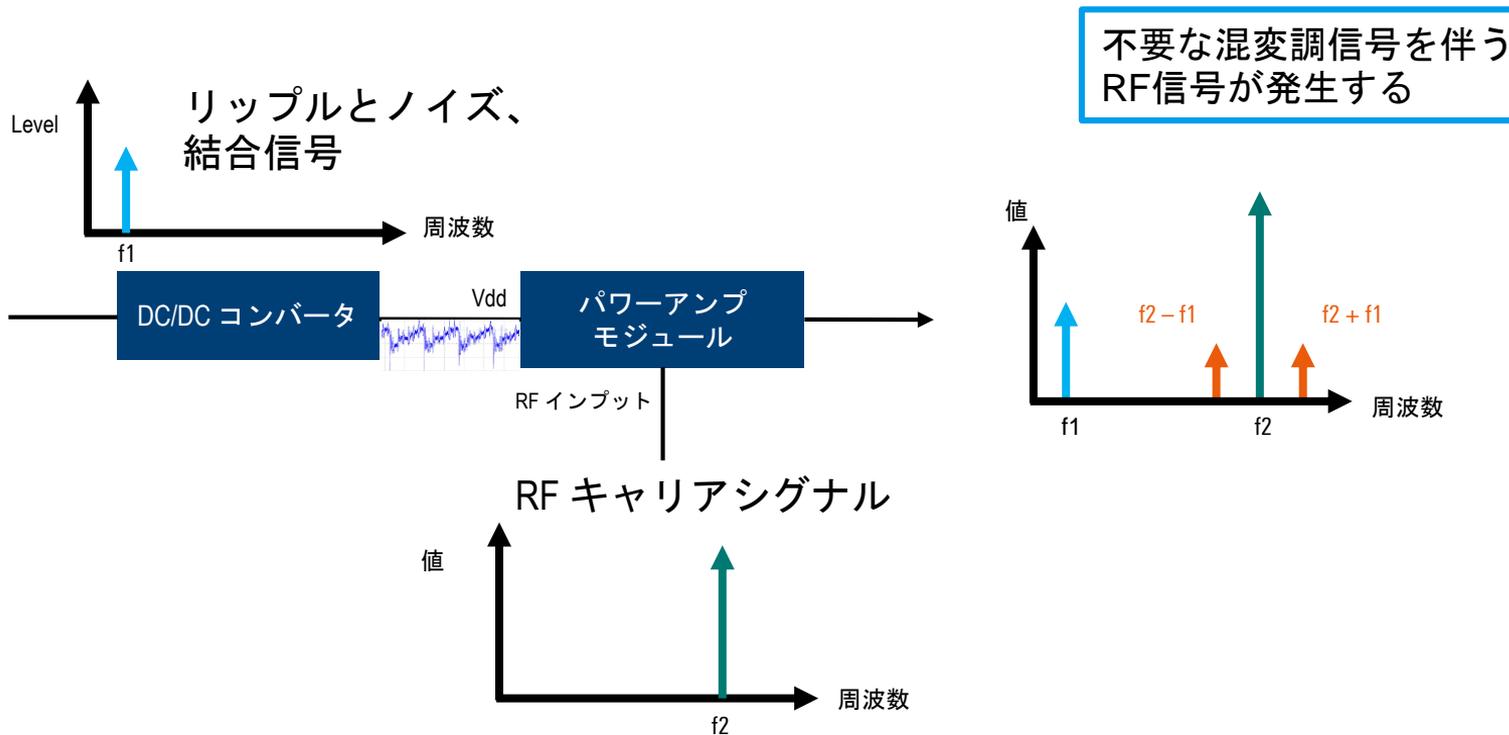
電源回路のEMIは特に重要 シグナルインテグリティの低下と影響



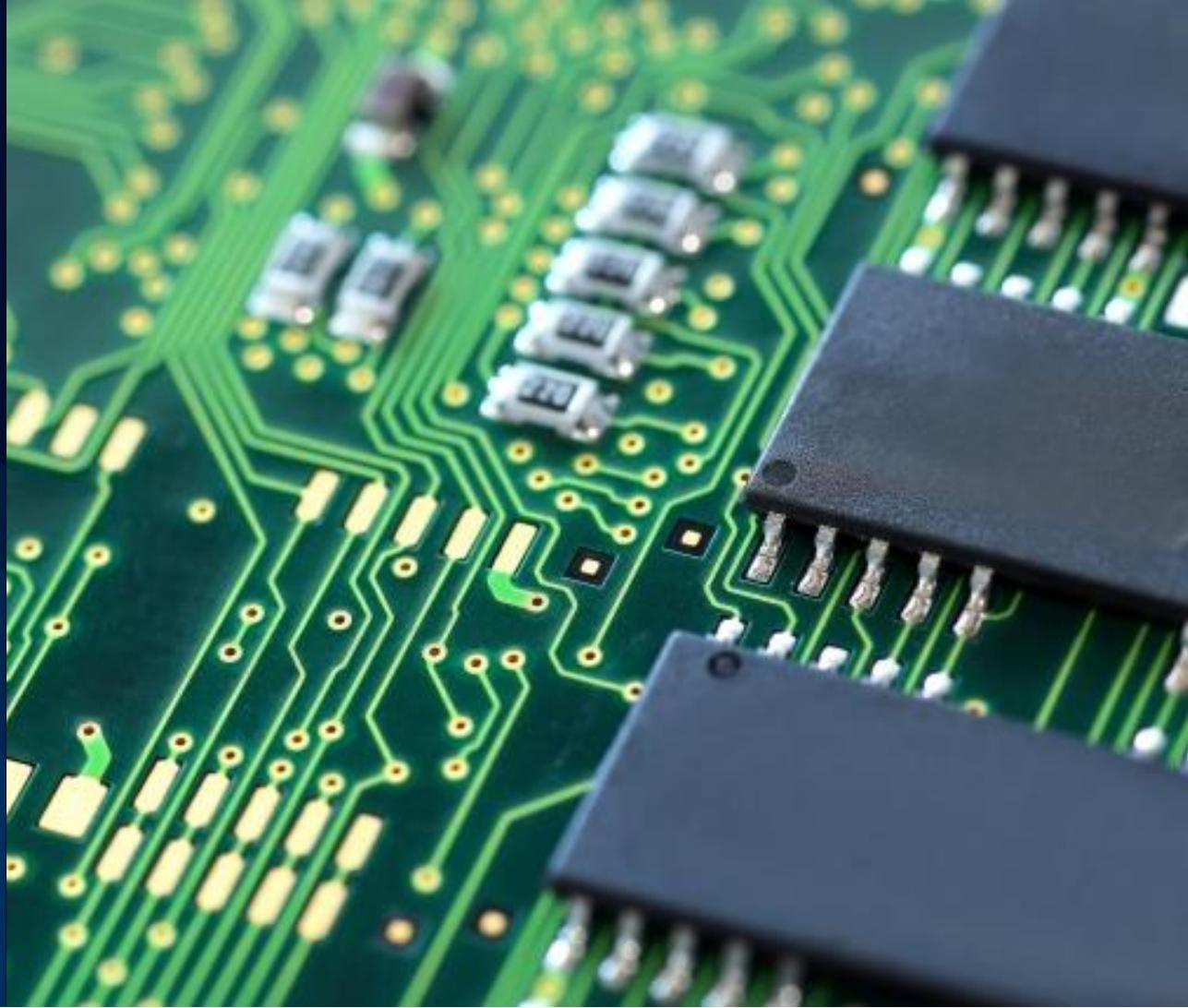
電源に重畳したジッターは、
回路全体に分散される

電源回路のEMIは特に重要

パワーインテグリティはRFシグナルインテグリティにも影響

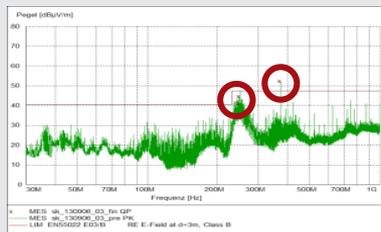


EMIデバッグの ケーススタディ

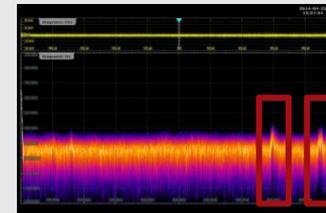


一般的な EMI デバッグ手順 分析手順

A) ファーフィールド測定



C) DUTなしでの基準測定



B) 潜在的な発生源

ノイズ源	周波数
クロック周波数	e.g. 25 MHz + Multiples
イーサネットPHY	e.g. 125 MHz + Multiples
電圧変換器 / 電源アダプター	ブロードバンド
...	

D) 発生源を測定する為の 近磁界プローブ

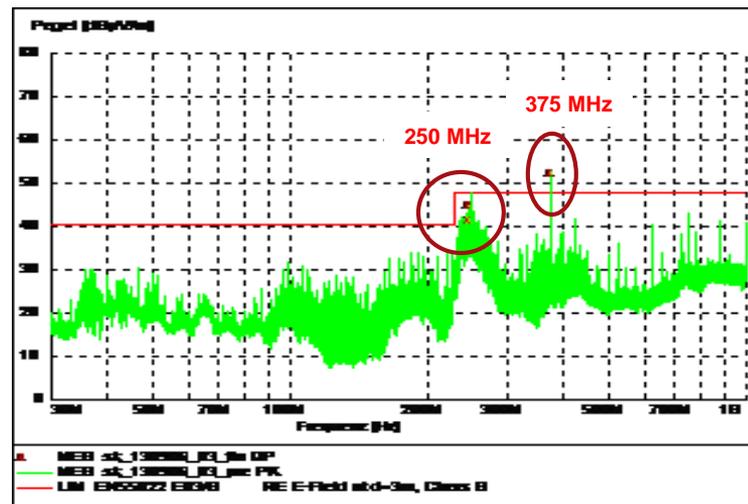


E) 対応策の分析

ファーフールド測定

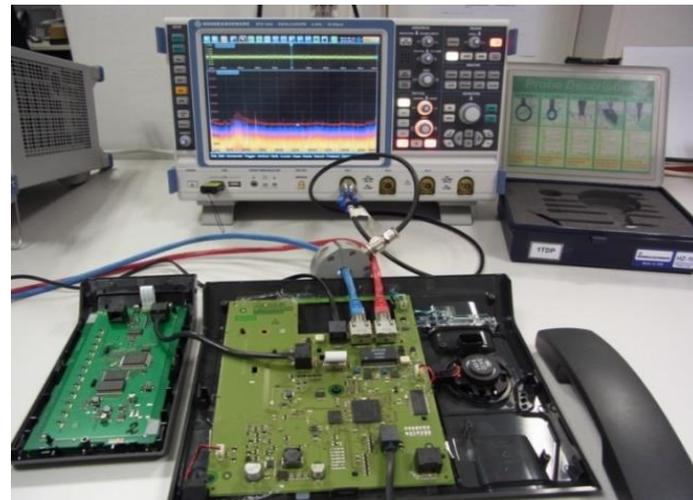
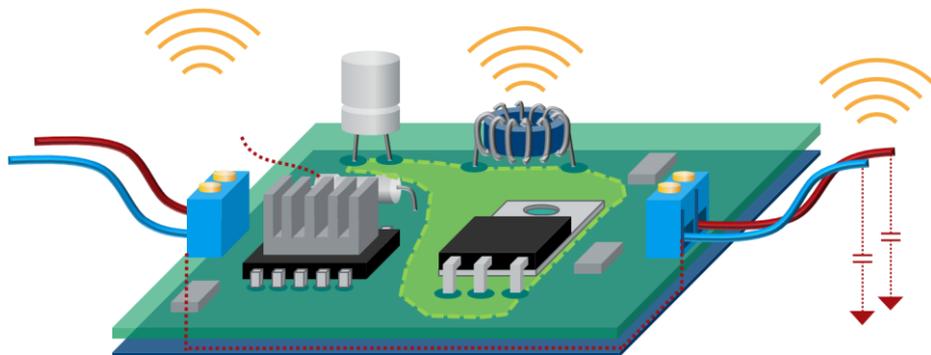
▶ IP電話のノイズ測定

- 欧州規格EN55032(赤線)で、国際規格CISPR32から派生した情報通信機器の規格を使用
- 375 MHzと250 MHzで規格を超えるスプリアス、および250 MHz付近で広帯域ノイズを観測



潜在的な発生源

- ▶ ノイズが遠方界で発生する際、被測定物には必ず以下の3つが含まれている
 - ノイズを発生させる素子
 - ノイズを発生させる素子とアンテナとの結合機構
 - ノイズを放射するアンテナとなる素子

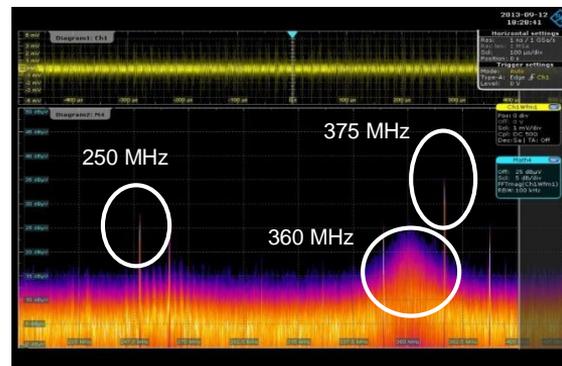


*測定したIP電話には、ノイズが発生するような加工をしています

潜在的な発生源

▶ ノイズを放射する素子についての考察

- 高周波ノイズの波長 λ に対して $N/4$ の長さの素子がノイズを放射するアンテナ素子となり得る
 - 375 MHzが最も高周波なので、その波長80 cmを1/4倍した約20cmの長さの素子が怪しい
- ボード上の素子で可能性があるのはケーブルのため、電流クランプで放射ノイズを評価する
 - 375 MHzと250 MHzでスプリアスが観測された
- 360 MHz付近にも広域ノイズが観測されているが、遠方界で強く観測されないため問題にならない



近磁界プローブを用いた測定

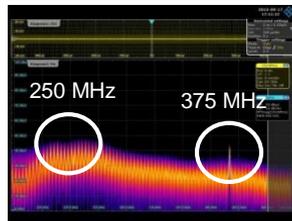
▶ ノイズを放射する素子についての考察

- ループ・アンテナを備えた近磁界プローブを用いて、メイン・ボード上のノイズを測定

DC-DCコンバータ



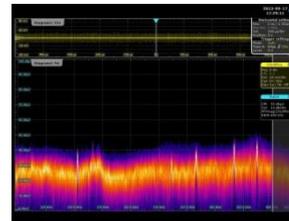
375 MHzのスプリアスと250 MHzの広域ノイズ



メモリチップ



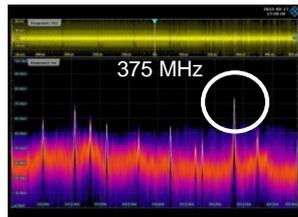
スプリアスのレベルが低く問題ない



プロセッサ付近



特に375 MHzのレベルが高く遠方界でのノイズ発生源である可能性が高い



近磁界プローブを用いた測定

▶ ノイズを放射する素子についての考察

- メモリチップは原因となる対象から外れます
- DC-DCコンバータは電源からSPI (Serial Peripheral Interface) を駆動します
- 駆動したSPIからは受話器に信号が伝送されます

ノイズ発生メカニズムの全体像が見えてきました

近磁界プローブを用いた測定

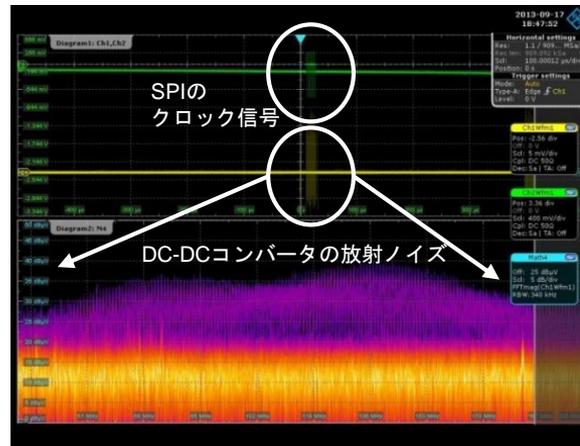
▶ 最終結果

- DC/DCコンバータを近磁界プローブで測定し、差動プローブでSPI出力を測定した結果、SPIのクロック信号が観測されたときにノイズが発生している

DC-DCコンバータ



オシロスコープを用いることで、時間と周波数（FFT表示）の両側面から評価が行えます



近磁界プローブを用いた測定

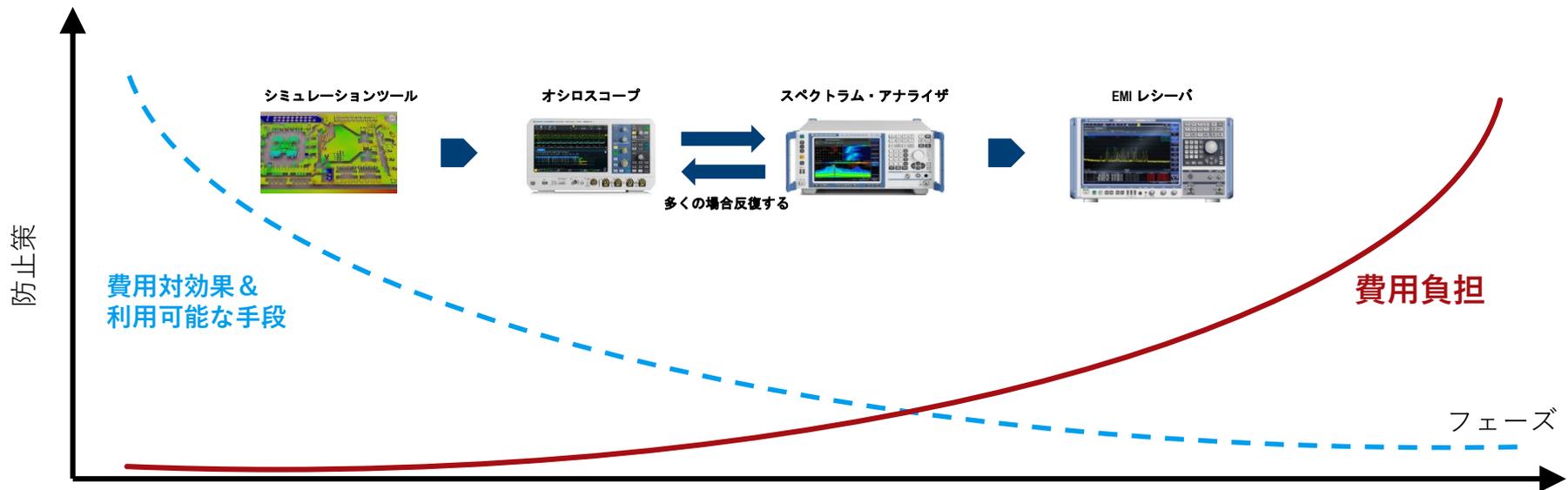
▶ 最終結果

- ノイズ発生源 : DC-DCコンバータ
- ノイズの結合機構 : SPIとDC-DCコンバータ
- ノイズを放射するアンテナ : 受話器のケーブル

シミュレーション

プリコンプライアンス
デバッグ

コンプライアンス



R&D

プロトタイプ
デザイン

プリプロダクション

製造

治療よりも予防が大切



予防医療の健康診断と同様に、将来的な問題の回避の為、早期に回路を診断します。

計測器のパフォーマンスレベル 適切なツールの選択

CISPR 16-1-1, FCC (40 GHz),
MIL-Stdに完全適合したEMI
レシーバ



EMI コンプライアンステスト
CISPR 16-1-1, 26 GHz



EMI 限度値に関するテスト



限度値に關係の
ない診断測定

エンジニアリング
および事前コンプライアンスEMIテストでの
診断測定

プリコンプライアンス測定
またはCISPR 16-1-1 Ed. 3における
コンプライアンス測定

フル
コンプライアンス測定

トップクラス
スペクトラム・アナライザ
多目的
スペクトラム・アナライザ



低価格スペクトラム・アナライザ、電圧計、オシロスコープ



Thank
you