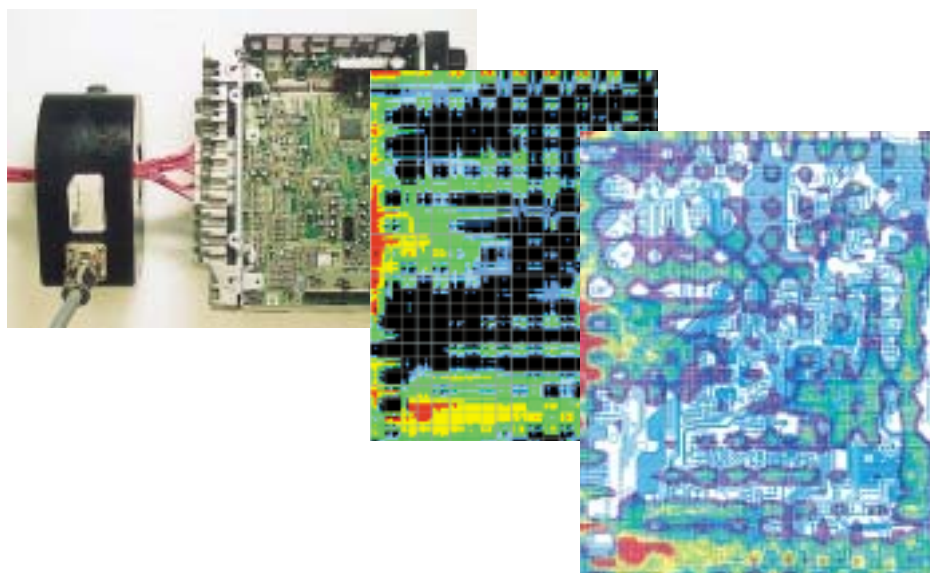


外来電磁波のノイズ可視化システム開発と設計への応用

Development of Noise Visualization System for Extraneous
Electromagnetic wave and Its Application to Circuit Design

大竹 正道 Masamichi Ohtake
松原 康夫 Yasuo Matsubara
田中 国次 Kunitsugu Tanaka



要 旨

市場への電子製品の急速な普及に伴って国際的な電磁波規制が広がっており、車載用電子機器においてもより高いEMC性能が求められている。特に外来電磁波に対する耐性性能(イミュニティ)の方が重要視され、あらゆる電磁環境下で製品性能を確保する必要がある。

一方、車載用電子機器には小型・高性能・低コスト化が求められ、車両開発期間の短縮により従来に増して開発の迅速化が必要であり、設計者には非常に過酷な条件下での製品設計が求められる。

こうした中、電磁波規制への適合を確認するイミュニティ試験で不適合となると、従来はノイズ対策の度にプリント基板を設計変更し、試験を繰返すトライ&エラー型(暗中模索型)の手法を取って来た。しかし、前述した低コスト・短期開発という環境の中で、迅速かつ正確にイミュニティ性能を確保するためには、ノイズ対策場において設計者を支援するツールが必要である。そこで、イミュニティ試験を模擬し、外来電磁波のプリント基板内へのノイズ侵入経路を可視化するシステムを開発した。

本稿では、外来電磁波のノイズ可視化システム開発の概要を中心に設計場面への適用事例についても紹介する。

Abstract

The rapid spread of electronic products in the market has resulted in an expansion of international electromagnetic wave regulations, which now require higher EMC performance of in-vehicle electronic equipment. And they make it necessary to secure product performance under all kinds of electromagnetic environments, particularly emphasizing immunity to extraneous electromagnetic waves.

At the same time there is now demand for in-vehicle electronic equipment to be more compact, higher-performance, and lower-cost, and the shortening of vehicle development periods now necessitates more rapid development than previously. This means that engineers now have to work under extremely severe conditions when designing products.

Traditionally, if products failed to pass the "immunity test" (checking conformity of immunity to electromagnetic wave regulations), a trial-and-error method was used whereby the design of the product's printed circuit boards was replaced with different-version items as a part of anti-noise measures, and the test was repeated. But in today's lower-cost, faster-development environment, it is necessary to have tools that will support the engineers in taking anti-noise measures, so that immunity performance can be rapidly and accurately assured. Accordingly, we have developed a system that simulates the immunity test and visualizes the paths of noise by which extraneous electromagnetic wave enters printed circuit boards.

This paper mainly provides an overview of the development of the noise visualization system for extraneous electromagnetic wave, and also introduces some cases of its practical application to design.

1. はじめに

電子製品が世界市場へ普及するに連れ、電磁波に関する国際的なEMC(Electromagnetic Compatibility)^{注1)}規制が急速に浸透している。

EMC規制のうちイミュニティに対する規制に関しては、各国の対応が遅れたこともあり、エミッション^{注2)}規制ほど認知されていなかった。

しかし近年、特に車載用電子機器にはイミュニティの方が重要視されて来ている。これは、エンジンやブレーキ制御などの車載用電子機器が、車の走る・止まる・曲がるという基本性能に直接関係しており、外来電磁波に対する耐性確保の要求が安全性向上の観点より、一層厳しさを増して来ているためである。

当社においても、この電磁波規制への適合を確認するため、EMC試験の一つであるイミュニティ試験^{注3)}を実施している。ここで不適合の場合、従来、設計者は経験と勘に頼ってノイズ対策を行い、プリント基板のパターン変更や部品追加といった設計変更とEMC試験を繰返すトライ&エラー型の手法を行って来た。

しかし、近年における高性能・低コスト・短期開発という設計環境やイミュニティに関するノイズ対策事例が少ないことなども相まって、従来のノイズ対策手法にも限界が来ている。よって、迅速かつ正確にノイズ対策を実施するためには、ノイズ対策場面において設計者を支援するツールが不可欠となった。

そこで、イミュニティ試験を模擬して外来電磁波相当の高周波ノイズが、プリント基板内に侵入する経路をパーソナルコンピュータ(以下パソコン)画面上で可視化する手法をトヨタ自動車(株)殿と共同で考案した。

さらに、可視化したデータをICAD(Integrated Computer Aided Design)^{注4)}のプリント基板図と合成表示させるシステムを開発し、先に述べたノイズ可視化手法と組合せることで、設計者は外来電磁波によるノイズ侵入経路(部位)を容易に特定出来るようになった。

本稿では、このシステムを開発するに至った背景、システム概要説明を中心に述べ、このシステムを実際のノイズ対策設計場面へ適用した事例を紹介する。

2. 外来電磁波のノイズ可視化システム開発の背景

2.1 車載用電子機器における外来電磁波環境の多様化

外来電磁波としてはテレビやラジオ放送局からの放送波が一般に知られている。

注1) 電磁環境両立性と訳され、電子機器自ら電磁波を出さないことと、外来電磁波を受けても正常動作することの両方を満足していること。またはその状態の意。

注2) 電子機器が外部へ電磁波を放射すること。

注3) 耐ノイズ性能を確認する試験で、TEMセル(Transverse Electromagnetic cell)法やアンテナ照射法などがある。

注4) コンピュータ支援設計ツールを意味し、ここではプリント基板のパターン設計ツールを示す。

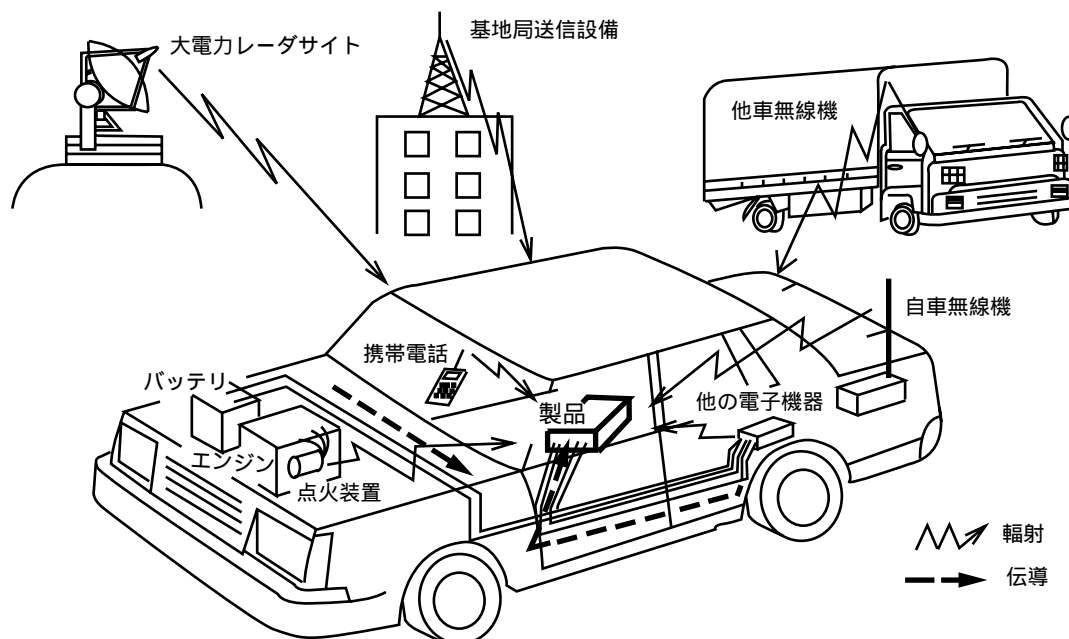


図-1 車載用電子機器を取り巻く外来電磁波

Fig.1 Extraneous electromagnetic waves around on-vehicle electronic equipment

表-1 車載用電子機器におけるEMC規制・規格例

国 名	規格・規制名	種 類
国際規格	CISPR12,25 etc.	エミッション
	ISO11452-1 etc.	イミュニティ
欧州	95/54/EC	エミッション
		イミュニティ
米国	FCC part15 etc.	エミッション
	SAEJ1448 etc.	イミュニティ
日本	メーカー自主規制 etc.	エミッション
	メーカー自主規制 etc	イミュニティ
オーストラリア	AS/NZS規格 etc. (95/54/EC 相当)	エミッション
		イミュニティ
中国	中国商検法 etc.	エミッション

また最近では、図-1に示すように携帯電話やポケットベルなどの基地局送信設備や携帯電話自体を車室内へ持ち込んだ場合、また特殊なところでは大電力レーダサイトからの電磁波も考えられる。

さらに、アマチュア無線機などの搭載車が近接した場合、自車に無線機を搭載している場合も電磁波にさらされる。

一方、車自体の点火雑音や自車に搭載されている他の電子機器からのマイコンクロックによる雑音も外来電磁波である。

このように、車載用電子機器にとってはあらゆる場面において、常に多種多様な高レベルの外来電磁波にさらされる環境下にあると言える。

2.2 製品開発環境の変化とノイズ対策

最近の企業間競争においては、高性能・低コスト・短期開発が必須条件であり、設計者にとっては従来に増して過酷な製品開発環境である。

特にハード設計者としては基本性能の確保などを優先させるため、ノイズ対策はある程度設計が固まってからの最終場面となりがちである。

しかし、一旦EMC試験で不適合となると設計者は時間制約を受けた中で、小型化が進み部品実装空間のないプリント基板上でノイズ対策を考えなければならない。

したがって、従来の場当たり的な設計変更も通用しなくなっている。また、プリント基板の設計変更には相応の費用と時間がかかる。

この対症療法的なノイズ対策が設計変更とEMC試験を繰返す悪循環に繋がり、さらに無駄なコスト発生と開発期間の遅延を発生させている。

まさに迅速かつ正確なノイズ対策こそが、低コスト、短期開発のキーワードであると言っても過言ではない。

2.3 車載用電子機器に関するEMC規制

表-1に示すとおり、各国でEMCに関わる規格化や法規制化が進んでいる。また、国際規格も市場の電磁波環境変化に合せて、常に改定作業が行われている。

中でも、イミュニティに関して新規制定する国が増えていることも最近の特徴である。

市場に電子製品を供給しているメーカーとしては、このEMC規制に適合させる必要があり社会的責務でもある。

以上述べたように、電磁波環境の変化とそれに呼応した規格・規制化によって、特に車載用電子機器にはイミュニティに対する迅速かつ正確なノイズ対策が重要で、耐ノイズ設計支援ツールが有効である。

3. 外来電磁波のノイズ可視化システム開発

3.1 開発の狙い

高性能・低コスト・短期開発と言う過酷な設計環境下においても、設計者に対し迅速かつ正確なイミュニティのノイズ対策支援が出来るように下記4つの狙いを定め、開発を行った。

外来電磁波のノイズ可視化手法の実現

ノイズ汚染部位の迅速な特定

ノイズ可視化データを設計者へフィードバックする体制整備

安価なシステム構築

これらの実現により、従来のトライ&エラー型のノイズ対策からの脱却を目指した。

3.2 外来電磁波のノイズ可視化手法と特徴

外来電磁波を可視化する手法は既存ではないため、外来電磁波を電子機器に侵入させるイミュニティ試験法と侵入した電磁波を可視化する技術とを組み合わせることをトヨタ自動車(株)第1電子技術部電子実験室殿と共同で考案し、この技術の実現へ向け開発を進めた。

開発に際しては既存技術を上手く組み合わせ、安価にしかも短期間で開発出来る方法を採用した。

イミュニティ試験としてはTEMセル法試験、アンテナ

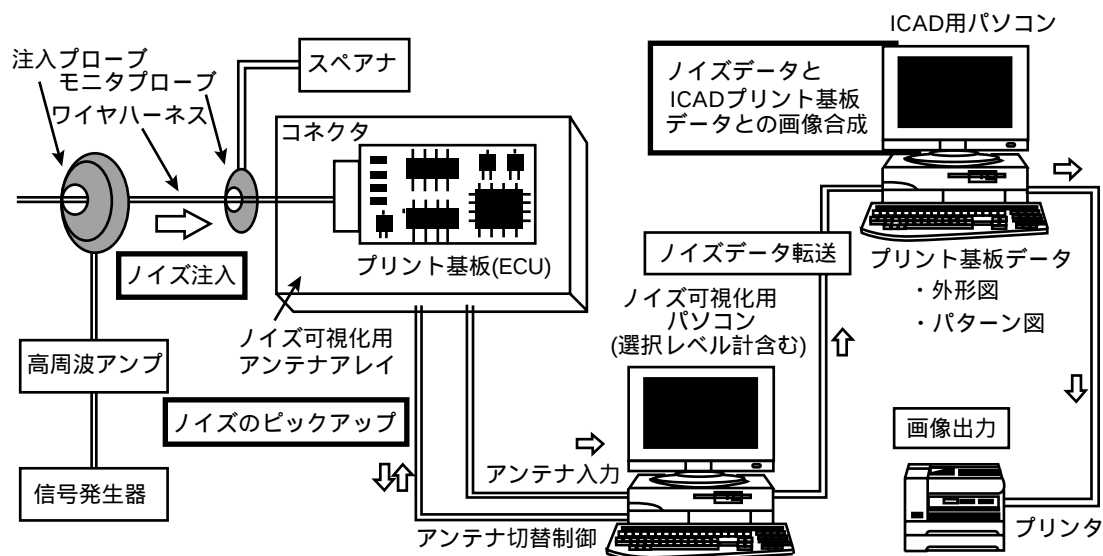


図-2 外来電磁波のノイズ可視化システム構成

Fig.2 Configuration of noise visualization system for extraneous electromagnetic wave

照射法試験などがあり、いずれもワイヤハーネスおよび製品に対し電磁波を照射して動作を確認するものである。

一方、図-1で示したように外来電磁波が車載用電子機器に侵入する経路としては、一般に電子機器が金属筐体で覆われていることから、ワイヤハーネスにカップリングしてプリント基板内へ侵入する場合が支配的である。（ただしプリント基板のGNDを筐体へ接地している場合、例外も有り得る。）

したがって、BCI(Bulk Current Injection)法^{注5)}により直接ワイヤハーネスへ外来電磁波を注入する手法を用いることとした。以下に概略を述べる。

外来電磁波の注入には信号発生器、高周波アンプおよび注入プローブを用い、高周波ノイズ（以下、擬似的に外来電磁波相当のノイズを発生させた場合、全て高周波ノイズと言い、2章1節に述べた外来電磁波と区別する。）をワイヤハーネスへ重畳させ、車載用電子機器に侵入させる。

また、プリント基板内に侵入した高周波ノイズの可視化にはノイズ可視化用アンテナアレイ（市販のエミッション用アンテナアレイ）を用いて高周波ノイズをピックアップし、パソコン画面上にノイズ可視化図（以下、高周波ノイズをパソコンで数値化表示させたものは全てノイズ可視化図と言う。）としてプリント基板内へのノイズ侵入経路を表示させる。

このように外来電磁波を電子機器内へ強制注入させ、プリント基板パターン上の高周波ノイズをノイズ侵入経路として可視化したところに、他のEMC関連の設計支援ツールにはない本システム開発の最大の特徴がある。

これらのシステム構成を図-2に示し、以下にその手法の詳細を述べる。

3.2.1 BCI法による外来電磁波の注入

BCI法を用いた外来電磁波の注入手法を以下に述べる。信号発生器により外来電磁波に相当する高周波ノイズを発生させる。

発生した高周波ノイズを高周波アンプによって増幅させ、注入プローブに印加する。

ワイヤハーネスにあらかじめ装着された注入プローブは、電磁誘導により印加した高周波信号の大きさに応じて、ワイヤハーネスに高周波ノイズを重畳させる。ワイヤハーネスへ注入させた高周波ノイズをモニタープローブによって監視する。高周波ノイズの大きさを示

注5) 外来電磁波相当の高周波ノイズをワイヤハーネスへ注入させる方法。また、BCI法イミュニティ試験はこの方法により供試品の動作を確認するイミュニティ試験の一つである。

す注入電流は、一般に下記の(1)式で求められ、所定の電流値に達するまで電流を増加させる。

$$\text{注入電流 } I = (10^{((E-Z)/20)}) / 1000 \quad [\text{mA}] \quad (1)$$

E : スペアナ読値[dB μV] (ケーブル損失などを
含む)

Z : モニタプローブ変換係数[dB Ω]

3.2.2 ノイズ可視化手法

前項の方法により、ワイヤハーネスへ注入させた高周波ノイズをノイズ可視化用アンテナアレイを用いて検出し、パソコン画面上に表示させる。以下にその手法を述べる。

高周波ノイズをワイヤハーネスへ注入させると、ワイヤハーネスからプリント基板のコネクタを介して回路のパターンや素子などへ高周波ノイズが侵入する。

プリント基板へ侵入した高周波ノイズを、ノイズ可視

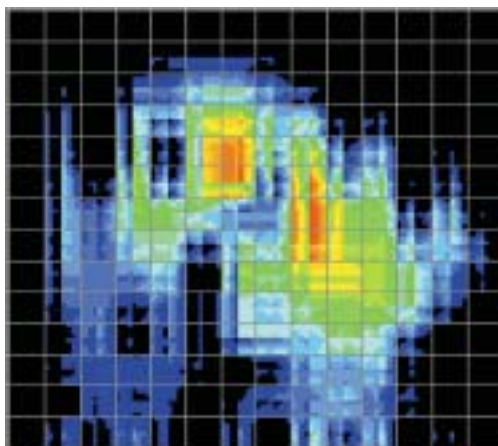
化用アンテナアレイによって検出する。

検出した高周波ノイズをパソコンへ送り、パソコンに内蔵された選択レベル計により信号強度に変換する。パソコンでは受け取った信号に所定の画像処理を施す。高周波ノイズをパソコン画面にプリント基板上のノイズ可視化図と言う形で、ノイズの侵入経路と強度情報として表示させる。

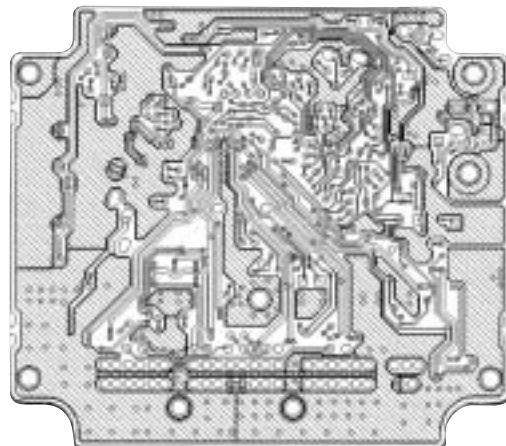
3.3 ノイズ可視化図とICADプリント基板図との合成

ノイズ可視化図だけでプリント基板上のノイズ侵入経路を特定する際、従来、設計者はこれとは別に基板図面を用意し、並べて比較したり、あるいは重ねて透かししたりと言う方法を取っていた。しかし、この方法では手間に加え、正確な位置を特定することが困難であった。

そこで、ノイズ可視化図を構成するノイズデータ個々をICADで扱えるデータに加工し、ICADのユーザ層に取



ノイズ可視化図の例



ICADプリント基板図の例



図-3 ノイズ可視化図とICADプリント基板図との画像合成例

Fig.3 Synthesis of noise-visualization image and ICAD printed circuit board image

込むことでプリント基板のパターン、外形、部品などと共にパソコン画面上で合成表示させることとした。

また、ノイズ可視化図の色表示がハッチング（線情報）であるため、ハッチング間隔を任意に可変出来る。これにより、ノイズ可視化図を強調したい場合はハッチング間隔を細かくし、プリント基板のパターンなどを強調したい場合は反対に間隔を広げることで一層、視認性が向上する。

これらにより、設計者はプリント基板上におけるノイズ侵入経路を正確に把握出来る。図-3に画像合成の一例を示し、以下にその手法を述べる。

ノイズ可視化用パソコンにおいて、ノイズ可視化用アンテナアレイの微小アンテナ素子ごとのノイズデータと微小アンテナ素子の座標データをICADで取扱えるデータに変換する。

このデータをICAD用パソコンのICADユーザ層に取込み、あらかじめ記憶済のプリント基板のICADデータと呼び出す。

ノイズデータとプリント基板データとの位置が一致するように原点合わせを行い、両者のデータを合成し画像データとしてICAD用パソコン画面上に表示する。

また、ICADデータを用いることでプリント基板のはんだ面パターンだけでなく部品面のパターンや部品、あるいは目視出来ない内層パターンにおいて、任意にノイズ可視化図と合成することも可能である。

3.4 ノイズ侵入部位の特定

前述のような手段によって、外来電磁波がプリント基板内へ侵入する経路を可視化し、パソコン上で迅速かつ正確にノイズ侵入部位の特定が出来る。

また、高周波ノイズを注入するワイヤハーネスを個々に選定し個別注入させることで、特定部位のみのノイズ侵入経路がわかる。加えて、ICAD上で任意の層におけるパターンなどと合成表示させることで、ノイズ侵入部位の絞り込み精度をさらに向上させることが可能となった。

3.5 ノイズ可視化測定結果の設計者への展開

このシステム開発によって、外来電磁波を精度良く特定出来るようになったが、ノイズ可視化測定結果を実際に対策する設計者へ迅速にフィードバックする環境整備も重要である。

そこで、測定後すぐにノイズ侵入経路情報を社内イントラネット(Intranet)へ掲載する方法を考案したり、直接

ICADデータベースへ保存する方法を採った。これにより、中津川 - 神戸という遠距離においても、設計者が直ちにノイズ対策の情報として有効活用出来るようになった。

3.6 ノイズ可視化システムの有効性検証

3.6.1 検証実験の狙い

このシステムは、製品がTEMセル法またはアンテナ照射法イミュニティ試験で不合格となった周波数に対し、これらのイミュニティ試験を模擬してBCI法で外来電磁波を注入し、ノイズを可視化する手法を採っている。

したがって、システムの有効性を確認するため、以下に示す2つの検証実験を設計部署と共同で行うこととした。

検証1：TEMセル法およびアンテナ照射法イミュニティ試験の製品への影響度合（本検証ではオーディオ出力変動）を、BCI法イミュニティ試験で再現出来るのかを検証する。

検証2：BCI法により、外来電磁波が正確に基板上のノイズ侵入経路として可視化出来るのかを検証する。

3.6.2 検証実験の諸条件

検証実験の狙いより供試品は出来るだけシンプルなものを考え、量産品から意図的にノイズ対策部品を削除し、イミュニティ性能を悪化させた供試品を製作した。具体的にはスピーカラインのバイパスコンデンサを削除し、外来電磁波がプリント基板内へ侵入しやすくした。

表-2にこの検証実験におけるその他の条件を示す。

表-2 試験法別の検証実験における諸条件

	BCI法	TEMセル法	アンテナ照射法
周波数範囲(MHz)	20 ~ 1000	20 ~ 400	200 ~ 1000
測定ステップ	2%	2%	2%
照射電界(V/m)	—	150	60
注入電流(mA)	30	—	—
照射・注入時間	2s	2s	2s
アンテナ偏波	—	—	水平
供試品方向	—	X方向	—
供試品	オーディオ用アンプ(2種類) ① 量産品 ② ノイズ耐性悪化品 (号口品より、スピーカラインのバイパスコンデンサを削除)		

3.6.3 検証実験結果

1) 検証実験 1

図-4に示すとおり、TEMセル法およびアンテナ照射法イミュニティ試験でオーディオ出力変動（ここでは、ノイズ耐性悪化品から量産品を減算した出力差として示してある。）の発生した周波数においてBCI法イミュニティ試験でも同現象が発生した。

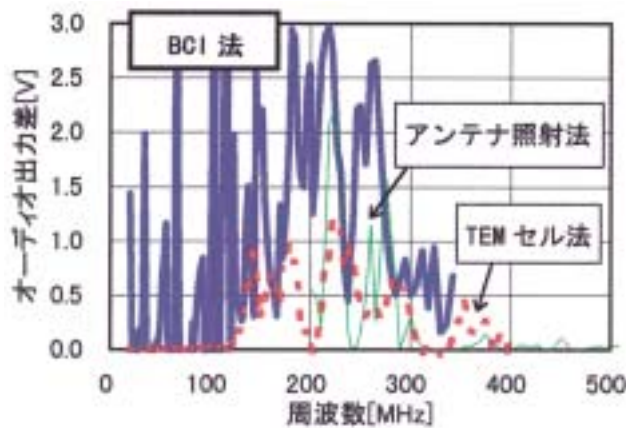


図-4 イミュニティ試験法別のオーディオ出力差
Fig.4 Difference in audio output among the various immunity test methods

2) 検証実験 2

検証実験 1 でオーディオ出力が変動した周波数の 157MHz をワイヤハーネスへ強制注入させると、量産品ではプリント基板内部へのノイズ侵入は少なかった。（図-5 参照）

一方、ノイズ耐性悪化品では基板内部までノイズ侵入が進んでおり（図-6参照）量産品と比較してスピーカラインのノイズレベルが最大で 8 dB 程度高くなった。

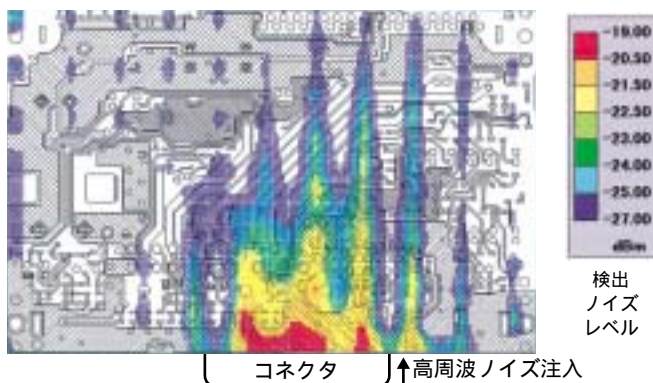


図-5 量産品におけるノイズ可視化図(157MHz)
Fig.5 Noise visualization image (157 MHz) of mass-production product

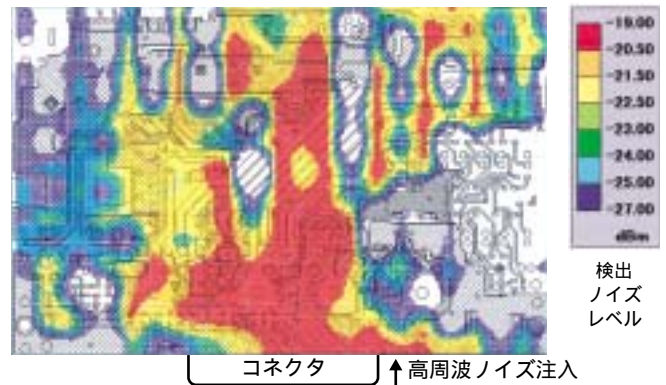


図-6 ノイズ耐性悪化品におけるノイズ可視化図(157MHz)
Fig.6 Noise visualization image (157 MHz) of item with deteriorated mass-production product

3.6.4 システムの有効性検証実験に関する考察

検証実験 1 の結果より、TEMセル法およびアンテナ照射法イミュニティ試験でのオーディオ出力変動がBCI法イミュニティ試験でも再現していることから、外来電磁波を注入する方法としてBCI法が適切であることが証明出来た。したがって、このシステムがTEMセル法およびアンテナ照射法イミュニティ試験を模擬出来ていると言える。（ただし、供試品の動作を監視する出力がアナログ信号でなく、あるしきい値による良否判定のデジタル形式信号の場合、高周波ノイズ発生に関する設備の能力限界により例外も有り得る。）

一方、検証実験 2 の結果ではノイズ耐性を意図的に悪化させた供試品にて高周波ノイズを注入させると、あらかじめ推測した通りプリント基板内部にまでノイズ侵入しており、正確に侵入経路を可視化出来たと言える。また、この時図-4よりオーディオ出力も大きく変動していることがわかる。

これらのことからBCI法イミュニティ試験を用いた外来電磁波のノイズ可視化手法が、TEMセル法およびアンテナ照射法イミュニティ試験を模擬でき正確にノイズ侵入経路を表示出来ることがわかり、このシステムの有効性が証明出来た。

なお、本検証実験の考察からは離れるが、図-4オーディオ出力はノイズ耐性悪化品から量産品のレベルを減算したものであるため、各試験において量産品のノイズ耐性が優れていることが改めて認識出来た。また、ノイズ侵入経路からも量産品の方が侵入し難くなっており、これを裏付けるものである。

このことから、このノイズ可視化システムが過去のノイズ対策を証明することにも応用出来ることがわかった。

4. イミューニティのノイズ対策設計場面への応用

前項までの検証において、外来電磁波のノイズ可視化システムの有効性が証明出来た。

以下に、この外来電磁波のノイズ可視化システムを実際の設計場面へ応用してノイズ解析を行い、対策した事例を紹介する。

4.1 パワートレイン系制御機器への応用事例

4.1.1 外来電磁波が機器へ与えた影響

パワートレイン系制御機器においてTEMセル法イミューニティ試験を実施したところ、出力信号のON時間が所定値から変動した。正常であればON時間は4.1msに対し $\pm 5\%$ の許容範囲に入るが、電磁波を照射させると8~9%程度変動し規格を外れた。

設計者の事前検討で、電源電圧が5Vから3.8Vへ低下していることはわかったが、何が原因なのか絞り込めなかった。

4.1.2 ノイズ可視化システムを用いた解析

この出力ON時間変動の内容を受けてノイズ可視化システムを用い、3章までの検証において述べた手順で測定を行った。測定周波数は、機器の出力変動が発生している196MHzとした。

1) 可視化されたノイズの解析

このシステムを用いた解析によって、外来電磁波に相当する高周波ノイズがワイヤハーネスから+Bおよびパワ

ー系GND端子を介し、ケースアース用のバイパスコンデンサを経由して電源電圧低下を招いていると推測する電源IC付近のデジタル系GNDまで侵入していることがわかった。(図-7, 8参照)

このことから、電源IC内部の5V電圧を作るコンパレータ部の基準GNDが高周波ノイズの侵入によって振られ、電圧低下したものと解析した。

これを回路ブロックにより模式的に示すと図-9, 10のようになる。

2) ノイズ対策

電源ICのデジタル系GNDへのノイズ侵入原因と推測するパワー系GND用のバイパスコンデンサを削除(図-10参照)し、電源ICの電源系強化を図った。

ノイズ可視化システムによる解析が加わったことで、電源IC付近に特化したノイズ対策を行うことができ、図-11, 12のとおり一回のプリント基板の設計変更でTEMセル試験に合格することが出来た。

4.1.3 ノイズ対策工数の削減効果

このシステムを使用したことにより外来電磁波のプリント基板内へのノイズ侵入経路が特定でき、対策すべき部位の絞り込みに効果的であった。

ノイズ対策に最も工数を費やすのがこの対策部位の絞り込みであり、このシステムを用いて解析したことで今回のケースでは、40%近く的设计工数削減に寄与出来た。

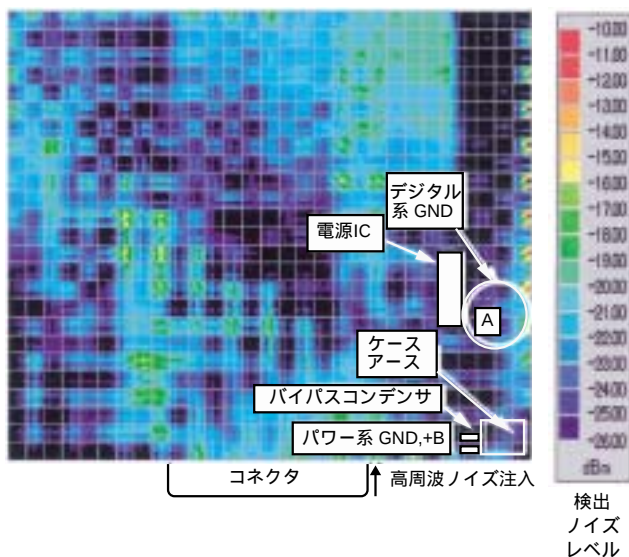


図-7 対策前のノイズ可視化図(196MHz)

Fig.7 Noise visualization image (196 MHz) prior to anti-noise measures

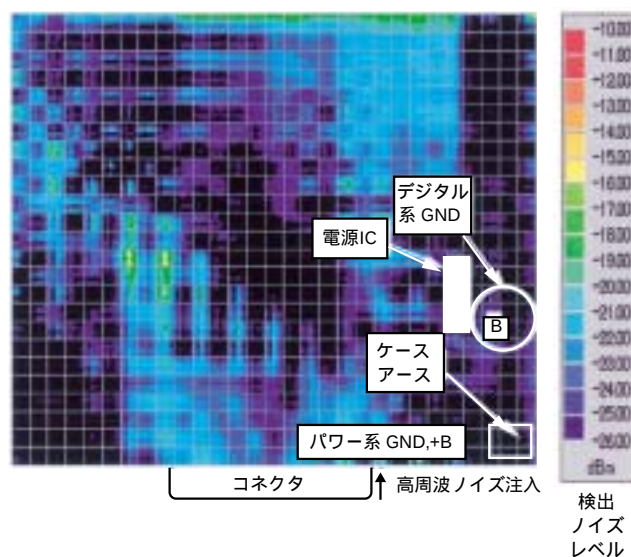
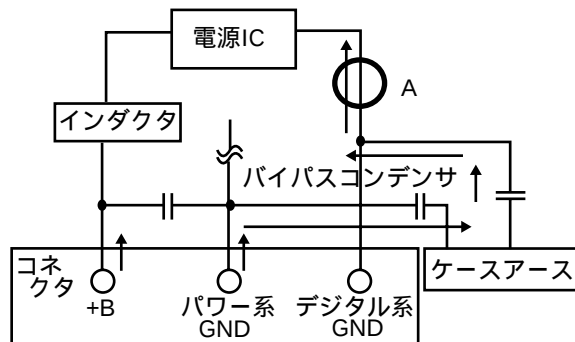


図-8 対策後のノイズ可視化図(196MHz)

Fig.8 Noise visualization image (196 MHz) following anti-noise measures



→:ノイズの流れ

図-9 対策前の回路ブロック図
Fig.9 Circuit block diagram prior to anti-noise measures

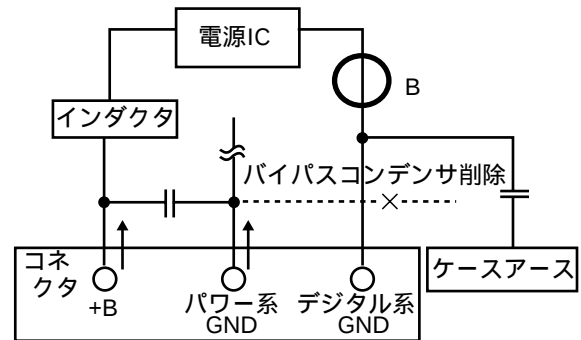
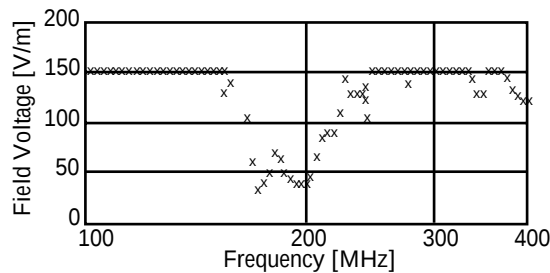


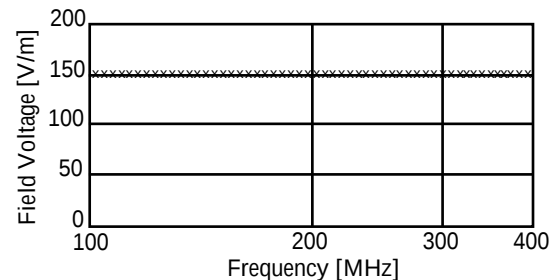
図-10 対策後の回路ブロック図
Fig.10 Circuit block diagram following anti-noise measures



< 出力変動周波数の代表例を抜粋(全: 41箇所) >

周波数 (MHz)	出力変動開始レベル (V/m)	出力変動現象
172	35	噴射時間+5%OVER
175	40	同上
196	40	同上
199	40	同上

図-11 対策前のTEMセル法イミュニティ試験結果
Fig.11 Results of TEM-cell method immunity test prior to anti-noise measures



出力変動なし (150V/m)

図-12 対策後のTEMセル法イミュニティ試験結果
Fig.12 Results of TEM-cell method immunity test following anti-noise measures

5. おわりに

本稿では、特に安全性の要求される車載用電子機器に、多種多様な外来電磁波に対するイミュニティ性能の確保が重要であることを述べた。

また、BCI法を用いて外来電磁波を電子機器へ強制注入させ、プリント基板上へのノイズ侵入経路を可視化するシステムを開発し、このシステムの有効性を示した上で、さらに設計場面へ応用出来ることを確認した。

今後さらに、このシステムを用いたノイズ解析を継続して行くことで、ノイズの侵入メカニズム解析事例を蓄積して設計ノウハウへ折り込み、EMC品質の確保を図る所存である。

最後に、このシステムにおける外来電磁波のノイズ可視化手法に関して、共同で考案頂いたトヨタ自動車(株)の大江準三様に感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 中西 隆: “メーカーにおける自動車用のEMC” 第5回 '99EMCフォーラム ミマツデータシステム (PP.1,9~12)
- 2) “導入始まるEMIシミュレータ, 対症療法から設計段階での検証へ” NIKKEI ELECTRONICS 1994.9.5(no.616,pp.69,70)

筆者紹介



大竹 正道(おおたけ まさみち)

1990年入社。以来、自動車用電子機器、センサ開発に従事。1995年11月より中津川テクノセンター建設プロジェクトを推進。現在中津テクノセンターEMC技術課在籍。



松原 康夫(まつばら やすお)

1998年入社。以来、電磁波研究・評価に従事。現在中津テクノセンターEMC技術課在籍。



田中 国次(たなか くにつぐ)

1963年入社。以来、放送中継器、移動無線の開発に従事。1996年6月より中津川テクノセンター設立を準備。現在中津川テクノセンター長代理。