

ハイブリッド車用 FM 帯ラジオノイズ 可視化システムの研究

Research on FM Band Radio Noise Visualization System for Hybrid Vehicle

上 森 俊 之*
Toshiyuki UEMORI

須 永 雅 美*
Masami SUNAGA

要 旨

ABSTRACT

ハイブリッド車の高圧電装部品から発生する FM 帯ラジオノイズを可視化するシステムを研究した。

本システムは、電磁波ノイズを検出する電磁界検出部、それを走査させる測定装置とインターフェース、電磁波ノイズを周波数解析するスペクトラムアナライザ、データ処理をおこなう PC によって構成されている。

システムのノイズ源特定方法は、ハイブリッド車に搭載されている高圧電装部品の上にカメラを組み付け、ユニットを撮影し、測定装置に組み換えて高圧電装部品の各動作状態におけるノイズを検出する。次に検出したノイズをスペクトラムアナライザにて周波数解析した電界強度データと写真データを合成してコンター図表示することにより、ノイズ源を特定する。

以上により、ノイズ源や周波数帯域の特定が容易にでき、従来に対しノイズ源特定時間、および対策時間を 1/3 にできた。

Research has been conducted on a system enabling visualization of FM band radio noise produced by the high-voltage components in a hybrid vehicle.

The system is composed of an electromagnetic field detection device that detects electromagnetic radiation noise, a measuring device and interface that scan the output of the electromagnetic field detection device, a spectrum analyzer that analyzes the frequency of the electromagnetic radiation noise, and a PC that processes the data.

The system employs a camera mounted above the high-voltage components in the hybrid vehicle. The camera records images of the components. In combination with the measuring device, this enables noise to be detected in each operating state of the high-voltage components. Electric field strength data that has been analyzed for frequency by the spectrum analyzer and photographic data are then synthesized to produce contour diagrams, enabling noise sources to be identified.

This method has enabled simple identification of noise sources and noise frequency bands, thereby reducing the time needed to identify a noise source and apply a countermeasure to one-third against conventional methods.

1. まえがき

近年、原油高騰や環境保護への関心が高まる中で、低燃費で CO₂ の削減効果が高いハイブリッド車の需要が拡大している。

ハイブリッド車の開発において、高圧電装部品から発生する FM 帯(76-108 MHz)ラジオノイズが商品性上の課題である。高圧電装部品から発生するコモンモードノイズと

ディファレンシャルモードノイズが車体やケーブル、ハーネスを伝搬し、電磁波ノイズとなり放射される。この電磁波ノイズがラジオアンテナに受信され、ラジオ音声出力に雑音となってラジオの商品性に影響を与えている。

今回、この課題克服のために高圧電装部品のノイズ源特定と対策効果を短時間で確認できる FM 帯ラジオノイズ可視化システムの研究をおこなった。本稿では、開発コンセプト、ならびに可視化技術について報告する。

*四輪開発センター

2. システムコンセプト

従来のノイズ源特定フローチャートをFig. 1に示し、Fig. 2に従来の特定方法とノイズの種類を示す。従来は、聴感試験によりノイズ増加周波数を特定し、電磁界プローブを用いて高圧電装部品のノイズを手動で検出し、スペクトラムアナライザにて周波数解析をおこなって対策を実施していた。この手法では、その場で他の部位や他の周波数域でノイズが増加していることがわからず、聴感試験によってノイズ増加を確認していた。この繰り返しにより、ノイズ源特定と対策に時間を要していた。

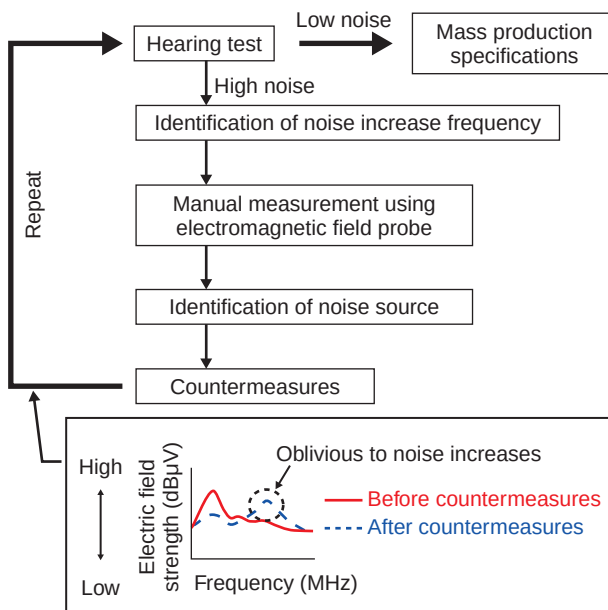


Fig. 1 Noise source specific flow chart

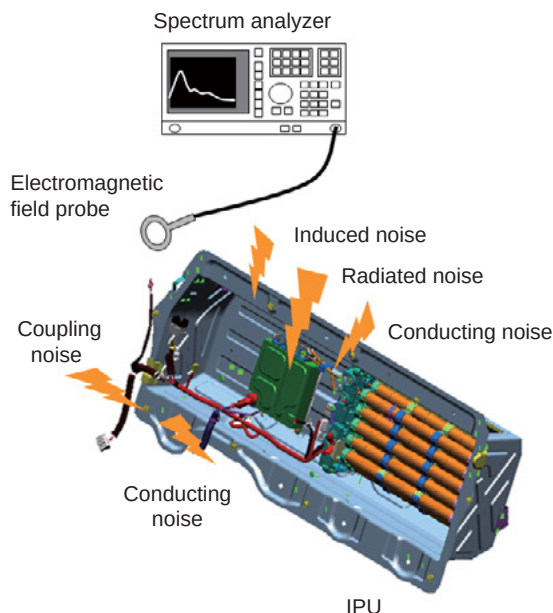


Fig. 2 Conventional method and kind of noise

本システムでは、短時間でノイズ源を視覚的に定量化できる評価システムの研究をおこなった。

システムコンセプトを以下の通り設定した。

- (1) 高圧電装部品と車体グランド間に発生するコモンモードノイズ、および回路間に発生するディファレンシャルモードノイズを自動計測し、可視化表示にてノイズ源を特定できること。
- (2) ノイズ源の周波数を指定して解析ができること。

3. システム概要

ハイブリッド車に搭載される高圧電装部品 Intelligent Power Unit (IPU) は、Power Control Unit (PCU)、高圧バッテリー、ジャンクションボードで構成したユニットで、PCU は Power Drive Unit (PDU) や DC-DC コンバータ、ECU で構成されたユニットである。ユニット構成をFig. 3に示す。

これらユニットからノイズが発生してケース、カバー、ハーネス、ケーブル、車体などを伝搬して放射される。

3.1. システム構成と諸元

本システムの構成をFig. 4に示す。本システムは、測定装置をハイブリッド車の高圧電装部品の上に取り付けて電磁界検出部を X-Y 平面に走査させ電磁波ノイズを検出し、スペクトラムアナライザにて周波数解析をおこなう。解析したノイズ電界強度データを別途撮影した高圧電装部品の写真と合成してノイズ電界強度分布をコンター図で可視化表示してノイズ源が特定できるシステムである。

本 FM 帯ラジオノイズ可視化システムの諸元を Table 1 に示す。

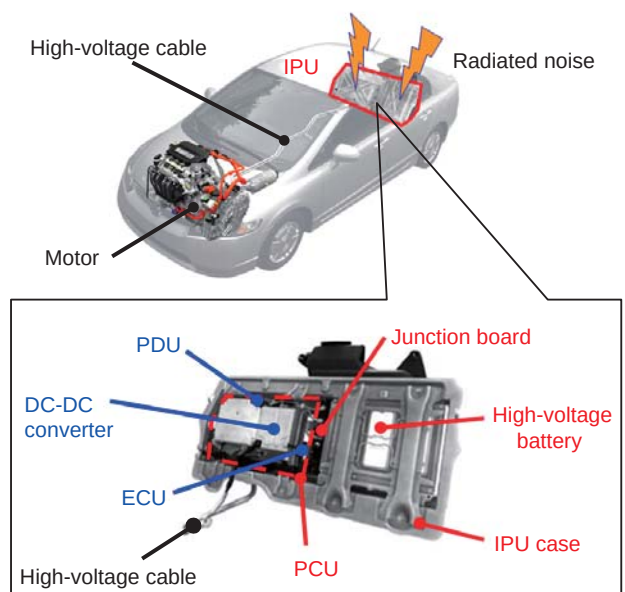


Fig. 3 IPU configuration

Table 1 Noise visualization system specifications

Item	Specification	
	Large measuring device	Small measuring device
Measurement object	High-voltage electronic components	Small electronic components and harness
Electromagnetic field detection device	4 probes in array configuration	3 probes in series configuration
Sweep method	X-Y plane	Y axis
Z axis movable range	50 (mm)	50 (mm)
Measurement area	500 × 600 (mm)	60 × 100 (mm)
Detailed measurement area	Arbitrarily set	Arbitrarily set
Measurement prohibition area	Arbitrarily set	—
Pitch measurement	1, 2, 4, 5, 10, 20, 50 (mm)	1, 2, 4, 5, 10 (mm)
Probe type	Vertical magnetic field probe Horizontal magnetic field probe Electric field probe	
Amplifier amplification rate	40 dB	
Measurement frequency bandwidth	76 - 108 MHz	
Frequency resolution	1001 point	
Display resolution	Electric field strength is displayed by dividing the range of the maximum value and the minimum value into 8 sections.	

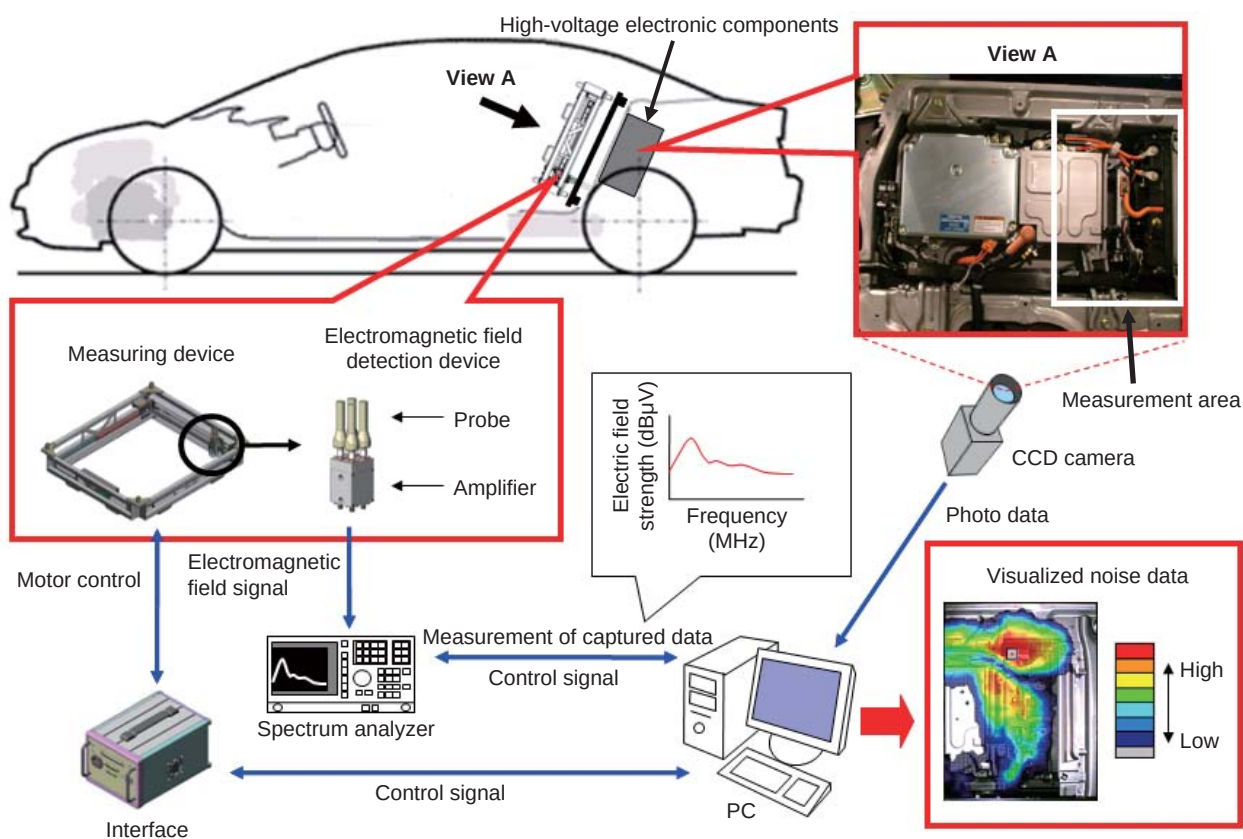


Fig. 4 Configuration of noise visualization system

3.2. 測定装置構造

測定装置は、大型版と小型版の2仕様を設定し、測定対象部位に応じてどちらかを選択する。また、大型版、小型版ともにプローブの検出感度アップのために被測定物との距離を近づけるZ軸上下可動機構を採用した。

大型版測定装置のZ軸上下可動機構は、高圧電装部品とプローブの間隔を調整できるよう、電磁界検出部のアンプ部にプランジャを設け、高さが0から50mmの範囲を5mm間隔で調節できる機構を採用して車両レイアウトに対応できるように設定している。大型版測定装置構造をFig. 5に示す。

小型版測定装置は、ハーネス、または小型電子部品を測定するため、プローブの間隔調整や車内の起伏に対応できるように4本のフットを独立して高さ調整ができる送りねじ機構を採用した。調整範囲は0から50mmで、フット1回転で0.7mmの微動調整がおこなえるようにした。さらに、粗動調整のためのクイックリリース機構を設けてあり、フット側面のボタンを押下することで素早く高さを変更できる仕様としている。小型版測定装置構造をFig. 6に示す。

電磁界検出部は、プローブとアンプとからなり、プローブ感度向上と、スペクトラムアナライザ50Ω系同軸ケーブルへのインピーダンス整合のため、プローブ直下にアンプを配置している。構造をFig. 5, Fig. 6に示す。

大型版のプローブ配置は、測定速度向上と測定時間短縮のために4本のプローブをアレイ状に配置した構造を採用

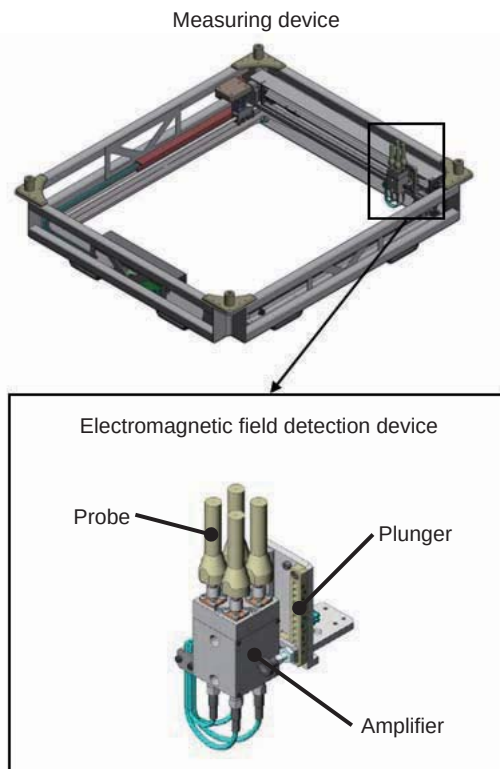


Fig. 5 Configuration of large measuring device

し、X-Y平面の1移動に対して、4区画を処理できるようにした。

小型版は、ハーネスや小型部品などの測定を目的としているため、測定エリアを狭く設定し、測定精度が低下しないように3本のプローブを直列配置した構造を採用している。プローブは、垂直磁界、水平磁界、電界の測定が可能な仕様を設定した。内部構造をFig. 7に示す。

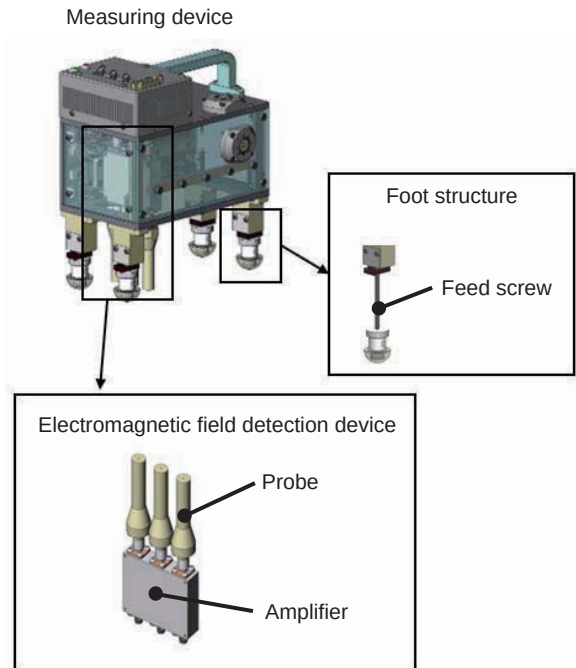


Fig. 6 Configuration of small measuring device

Vertical magnetic field probe	Horizontal magnetic field probe	Electric field probe

Fig. 7 Internal configuration of probes

4. 可視化技術詳細

4.1. 電磁波ノイズ発生メカニズム

導体に高周波電流が流れると磁界が発生し、電磁誘導の法則より、磁界の変化によって起電力が生じて電界が発生する。さらに電界の変化により電束電流が発生して磁界が発生する。このように次々と連鎖的に電界と磁界が発生し

て空間に広がって電磁波ノイズ^{(1), (2)}となる。この電磁波ノイズ発生メカニズムを Fig. 8 に示す。

4.2. ノイズ可視化原理

高圧電装部品の測定エリアを設定し、電磁界検出部で測定エリアを X-Y 方向に走査し、検出した電磁界ノイズをスペクトラムアナライザで周波数解析する。エリア 1 個のデータは周波数軸 1001 ポイントの分解能で PC に取り込

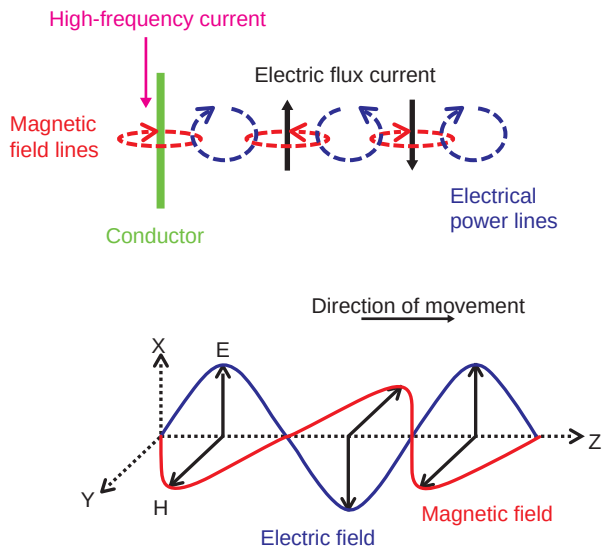


Fig. 8 Mechanism of generation of electromagnetic radiation noise

み、全エリアのデータを保存する。保存されたデータは、測定周波数全域、または指定した範囲内のピークレベルを抽出し、各エリアのノイズ電界強度データを強度分布図として表示する。

Fig. 9 に 9 個 (3 × 3) の測定エリアを想定した可視化原理図を示す。表示データの分解能は、各エリアの最大点と最小点を 8 段階の均等レベルで色分けをおこない、ノイズ電界強度の高い部位を赤色、低い部位を青色、無色に表示する。得られた強度分布図に対してソフトウェア処理による補間処理をおこない、滑らかな等高線状のコンター図を表示する。補間処理は、近接する強度レベルとの直線補間をおこない、中間の強度レベルと位置を算出する。

Fig. 10 に補間処理概念図を示す。測定エリア中心の電界強度レベル(大文字の数値)に対して、8 方向の近接するエリアの中心強度を直線で結び、強度差のレベルを等間隔に算出する。レベル差の大小により変化の密度が異なり、Fig. 10 の小数字が演算によって得られ、中間レベルとなる。この処理により得られた同一レベルを同じ色で結ぶことで、強度レベルの分布図を作成する。この処理をすべての測定エリアに対しておこない、中間レベルを算出して分布図を作成する。

4.3. 測定分解能とエリア指定

本システムは、測定対象物の写真データとノイズ電界強度データを重ね合わせるにより、ノイズ源を特定する。

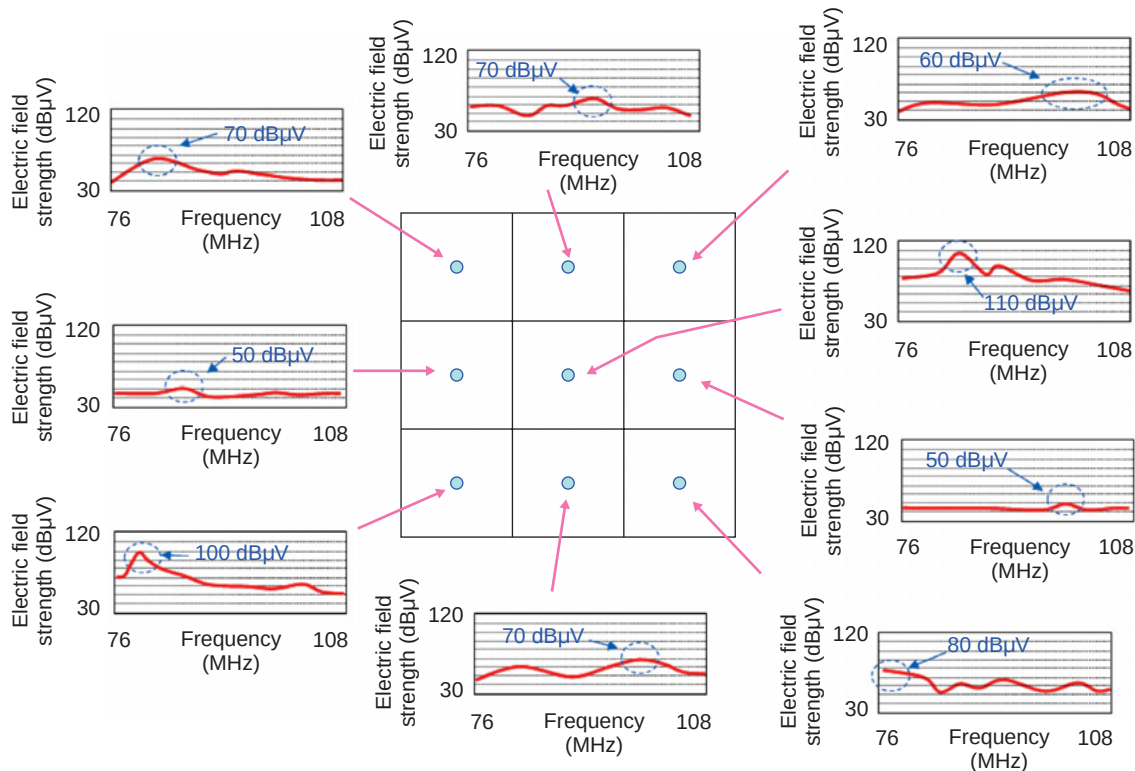


Fig. 9 Principle of visualization

それには、測定分解能が重要で、Fig. 11に示すように高圧電装部品のサイズに対する測定許容分解能を検討し、装置仕様として1, 2, 4, 5, 10, 20, 50(mm)の分解能を設定した。測定エリア500×600(mm)を測定分解能最少ピッチ1mmで測定すると膨大な時間となり、現実的ではない。そのため、初めに測定分解能最大ピッチ50mmの粗い分解能にて短時間でノイズ発生エリアを特定する。次に、そのノイズ発生エリアの部品サイズより、測定分解能を選定し、詳細に測定することでノイズ源を特定する。これにより、測定時間を短縮できる。

以上より、本システムでは、測定分解能の設定に加え、測定エリアを自由に設定できる機能を取り入れた。詳細測定イメージを Fig. 12 に示す。

4.4. 周波数解析

コンター図表示されたノイズ電界強度分布において、周波数域でノイズ電界強度が最大となる部位にポイントを表示し、そのスペクトラムを確認する。また、各部位のスペクトラムが確認できるようにポイントを任意に動かせる機能を設定している。さらに、コンター図で可視化表示する周波

数の範囲を任意で指定できる仕様としているため、聴感結果でノイズが増加している周波数に絞り込んで電界強度分布をコンター図表示し、詳細なノイズ源の特定がおこなえる。Fig. 13に全周波数帯域のコンター図とスペクトラム解析データ、および周波数帯域ごとのコンター図を示す。

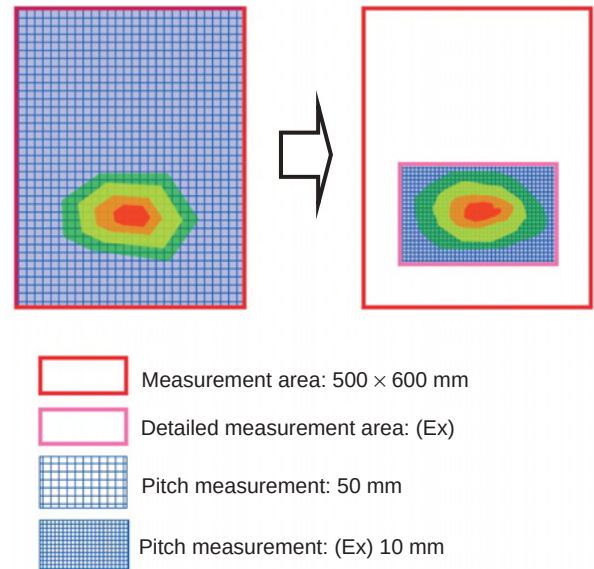


Fig. 12 Image of detailed measurement

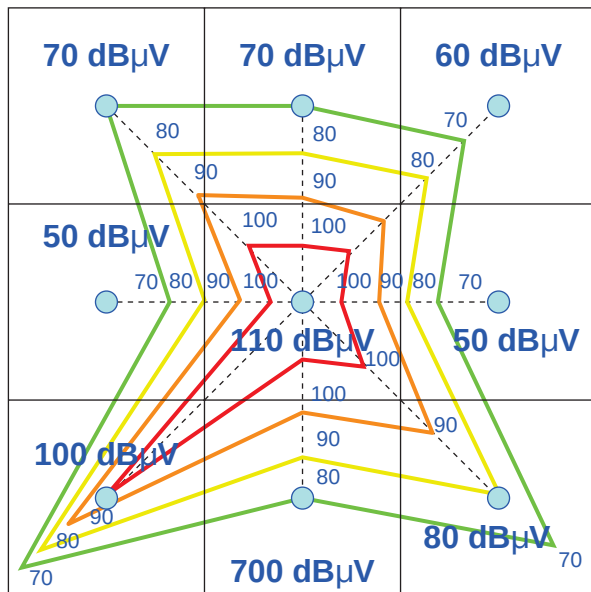


Fig. 10 Concept of interpolation

Parts	Size (mm)	Pitch measurement (mm)					
		10	20	30	40	50	60
PCU	600						
PDU	200						
DC-DC converter	150						
Connector	50						
Cable	10						
Harness	2						

Fig. 11 Pitch measurement

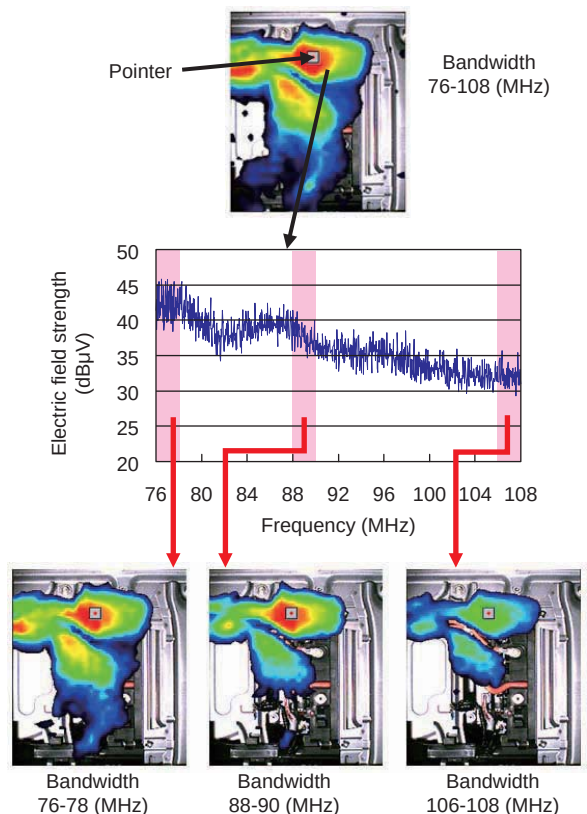


Fig. 13 Frequency analysis

5. 検証結果

本システムの検証を 2009 年モデルの INSIGHT を用いて実施した。検証の結果、ノイズ源と伝搬経路の特定が実証できた。さらに、従来手法に対してノイズ源特定時間を 1/9 以下、ノイズ対策時間を 1/3 以下に短縮を実現した。

検証に用いた 2009 年モデル INSIGHT の高圧電装部品を Fig. 14, Fig. 15 に示す。高圧電装部品の IPU は、PCU と高圧バッテリー、ジャンクションボード、IPU ハーネス、IPU フレームから構成されたユニットで、この中の PCU は、PDU と DC-DC コンバータ、ECU、PCU ハーネス、PCU ケース、PCU カバーで構成されたユニットである。

5.1. ノイズ源と伝搬経路の特定

高圧電装部品 IPU の上に大型版測定装置を取り付け、PCU カバーを外した状態にて PCU 内部を測定し、どのユニットがノイズ源であるか、また、どのハーネスやケーブルが伝搬経路であるかを特定した。

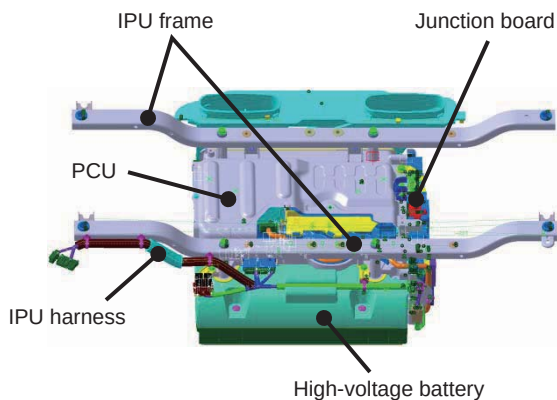


Fig. 14 IPU configuration

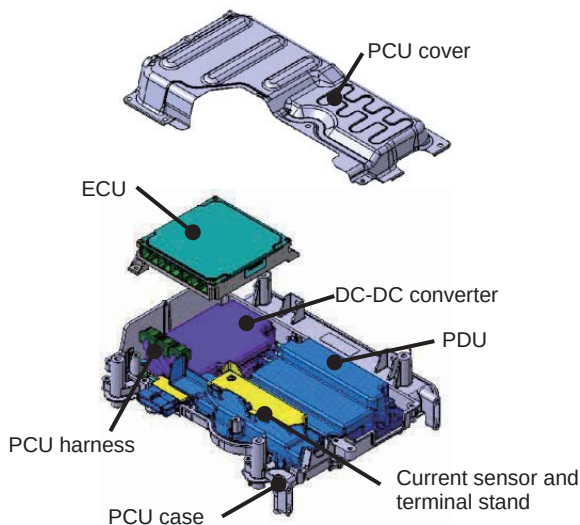


Fig. 15 PCU configuration

PCU 内部の各ユニットから放射される電磁界ノイズのノイズ電界強度分布の測定結果を Fig. 16 に示す。この結果から PDU 入力部や出力部、DC-DC コンバータ出力部、PCU ハーネス、IPU ハーネス、DC-DC コンバータ出力ケーブル、高圧ケーブルからノイズが発生していることを確認でき、IPU のノイズ源を詳細に特定することができた。

次に PCU にカバーを付け、PCU 内部の各ユニットから発生したノイズが、どの経路から伝搬して放射しているかを確認した。Fig. 17 にノイズ電界強度分布を示す。この結果から PDU や DC-DC コンバータから発生するノイズは、PCU カバーによりシールドされて IPU ハーネスや DC-DC コンバータ出力ケーブル、高圧ケーブルを伝搬して放射しているのがわかる。今回、PCU カバーのノイズ低減効果の検証とノイズ伝搬経路の特定ができた。

IPU ハーネスのノイズ伝搬回路特定には、小型版測定装置を用いて、どの回路を伝搬しているのかを特定した。IPU

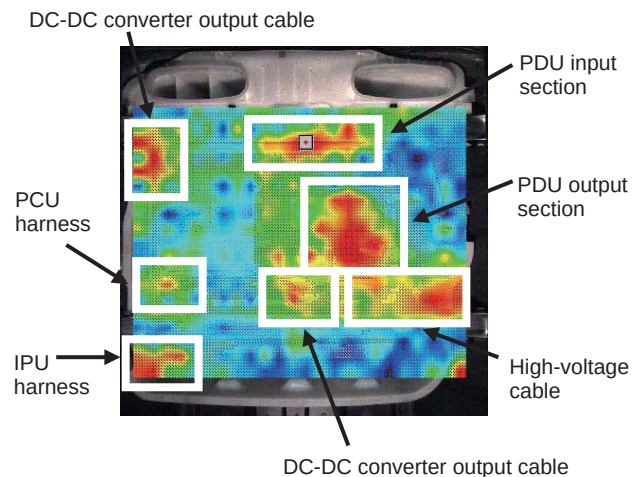
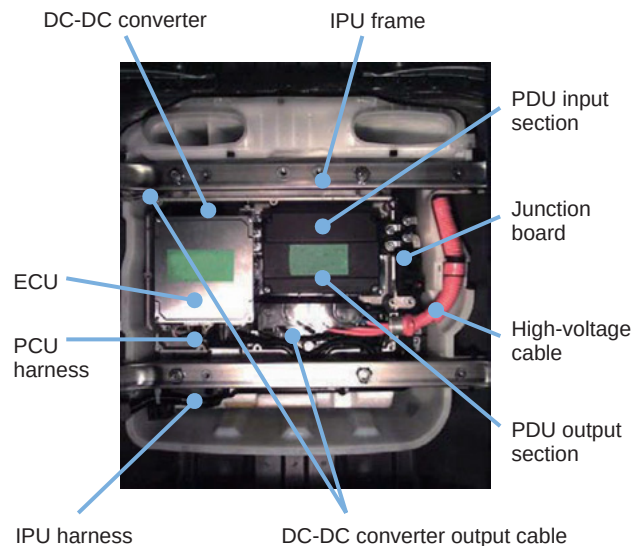


Fig. 16 Identification of noise sources

ハーネスのノイズ電界強度分布測定結果を Fig. 18 に示す。この結果からわかるように PCU 内部の PDU, ECU に通線される電源線とモータ制御線から伝搬していることが特定できた。

以上より、本システムの大型版測定装置、小型版測定装置を測定部位に応じて使いわけることによってノイズ源と伝搬経路を詳細に特定できることが検証できた。

5.2. 周波数解析

本システムの周波数解析機能は、聴感でノイズが増加している周波数に対して最適な対策を施すために用いる。

2009年モデルINSIGHTでは、ノイズ伝搬経路であるIPUハーネスのノイズ増加周波数域の特定をおこない、その周波数で最もノイズ低減効果が高いノイズ対策部品を選定して仕様に反映した。

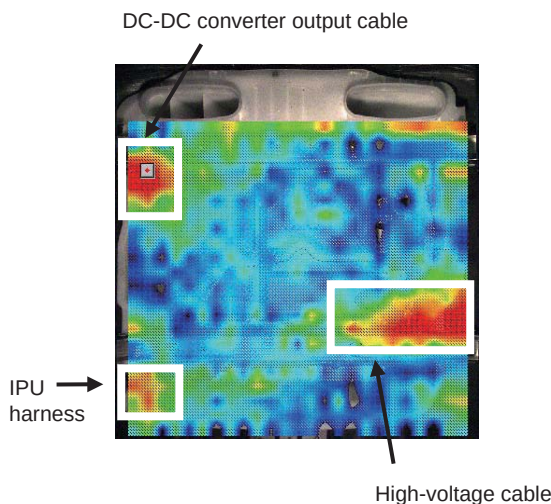
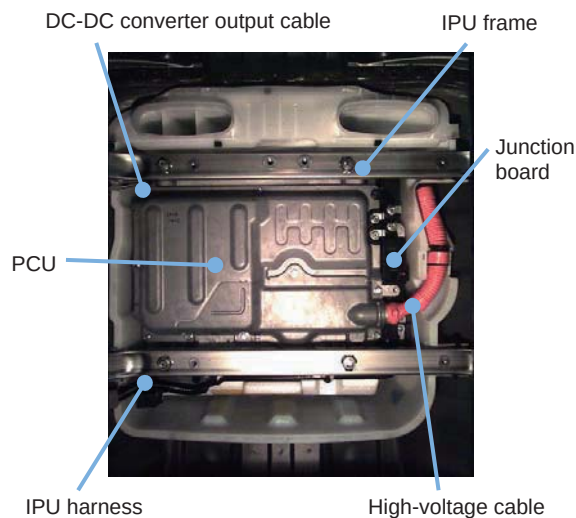


Fig. 17 Identification of propagation route

本対策内容は、シールドハーネスとフェライトコアの部品選定とコアの巻き数設定である。この IPU ハーネスの対策仕様を Fig. 19 に示し、ノイズ低減効果を Fig. 20 に示す。また、IPU に対策ハーネスを投入したときのノイズ低減効果を Fig. 21 に示す。この IPU 全体のノイズ低減効果は、シールドハーネス両端のドレインを PCU ケースと車体に接地させることで PCU の接地インピーダンスを低減させてグランド電位の変動を抑えたことによるものである。

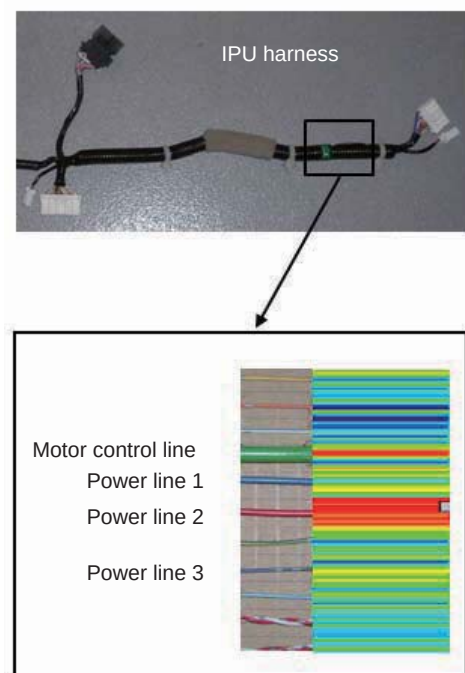


Fig. 18 Measurement results for harness

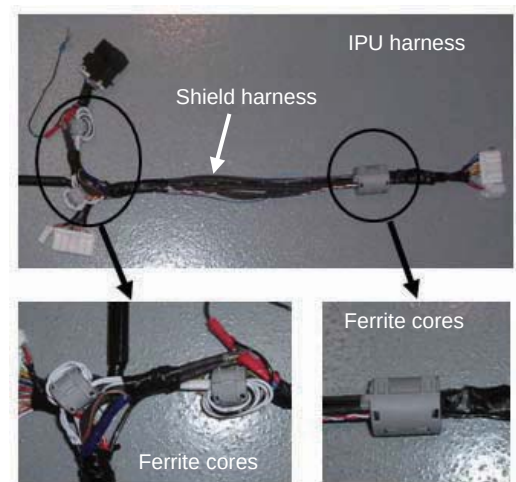


Fig. 19 Countermeasures

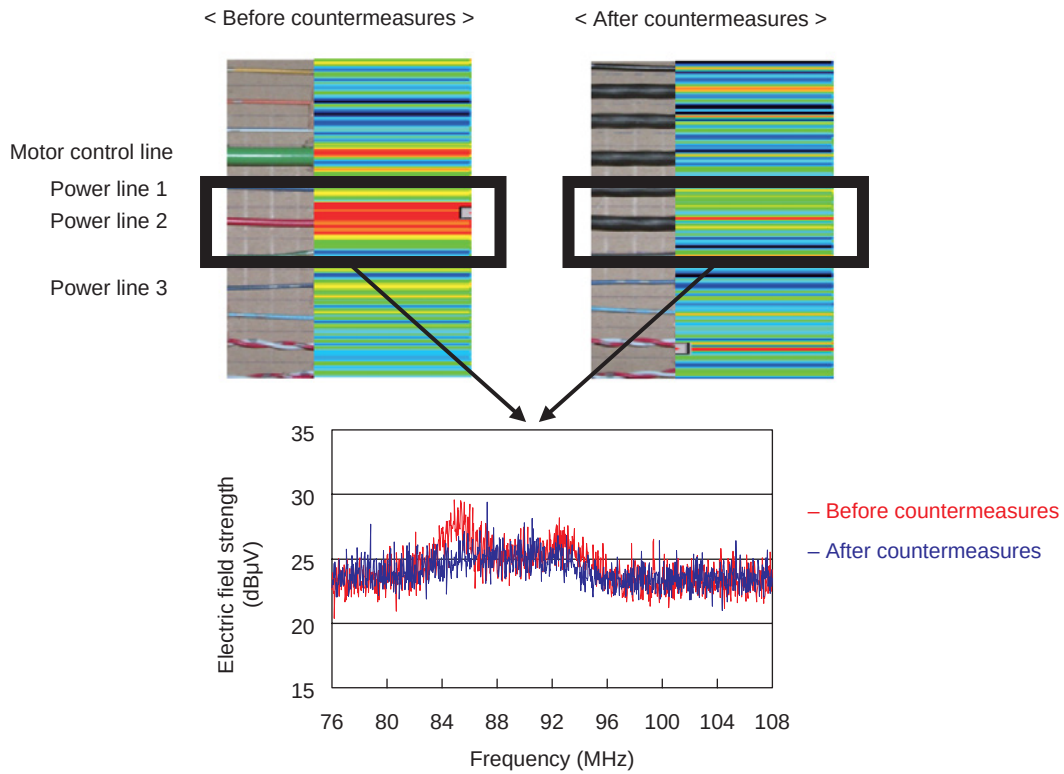


Fig. 20 Noise reduction effect of IPU harness

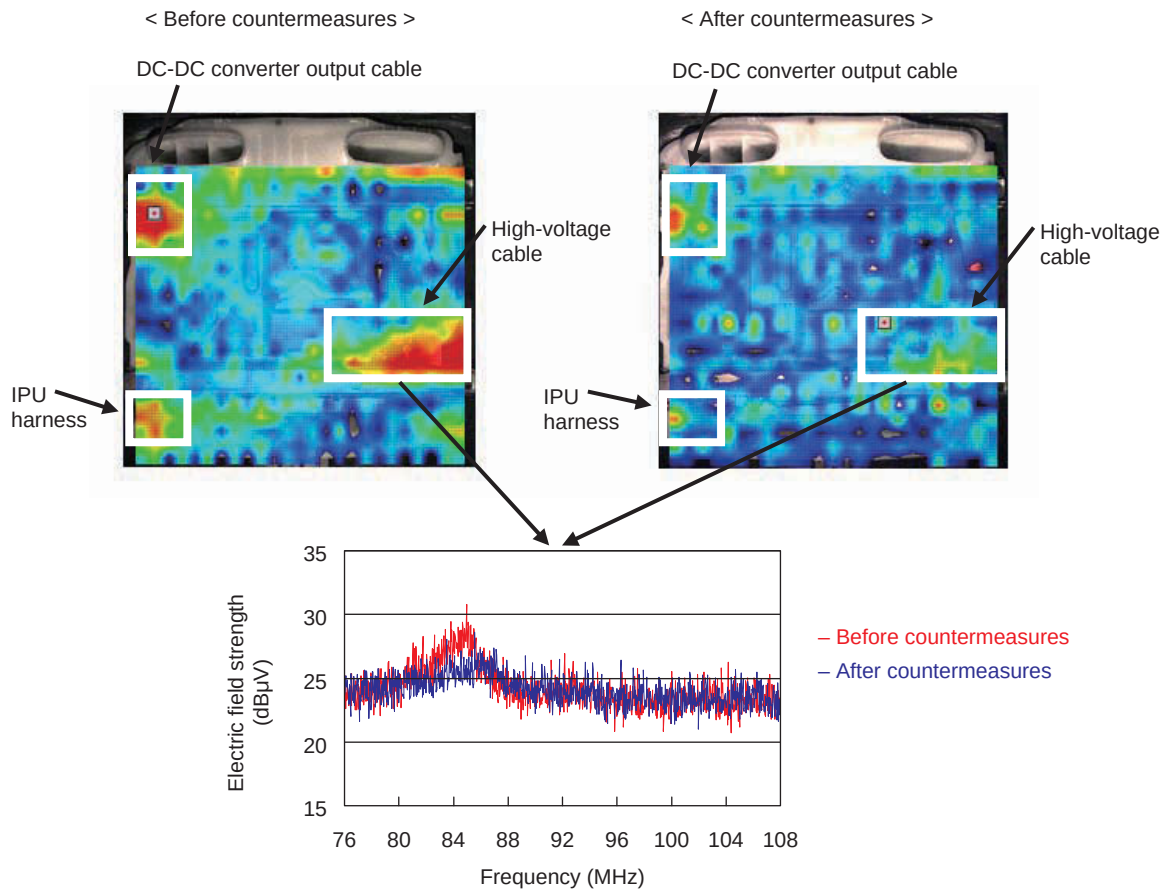


Fig. 21 Noise reduction effect of IPU unit

6. まとめ

FM 帯ラジオノイズ可視化システムの研究により、以下の成果を得た。

- (1) 車両組み付け構造としたことで、高圧電装部品の負荷に応じたノイズ源特定が可能となった。
- (2) 自動測定、アレイ型プローブの採用、分解能設定、エリア指定詳細測定機能により、測定時間の短縮を達成した。
- (3) コンター図表示、およびポインタ表示により、瞬時にノイズ源の特定ができ、周波数成分の特定も可能となった。
- (4) ノイズ源を明確に特定でき、ノイズ源の周波数帯域に応じた対策仕様と部品の選定が的確にできるようになった。

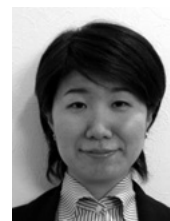
参考文献

- (1) 西村久: マックスウェルの方程式と電磁波, 電磁気学, 森北出版株式会社, p.158-180(1991)
- (2) 松本欣二: 電磁波の基礎, 電波工学入門, 朝倉書店, p.32-50(1969)

■ 著 者 ■



上 森 俊 之



須 永 雅 美