

車載用電子機器からワイヤハーネスへ流出する伝導雑音電流の低減

前野 剛^{†,††}(正員) 鷗生 高德[†](正員)
 加藤 謙二[†] 藤原 修^{††}(正員)

Reduction of Conductive Noise Currents through Wire-Harnesses from Electronic Equipment for Vehicles

Tsuyoshi MAENO^{†,††}, Takanori UNO[†], Members,

Kenji KATO[†], Nonmember,

and Osamu FUJIWARA^{††}, Member

[†](株)デンソー,刈谷市

DENSO CORPORATION, 1-1 Showa-cho, Kariya-shi, 448-8661 Japan

^{††}名古屋工業大学大学院,名古屋市

Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, 466-8555 Japan

あらまし 多層のプリント回路基板(PCB)で構成される車載電子機器からワイヤハーネスへ流出するFM放送波帯の伝導雑音電流を測定し,これを低減させるためにはデジタル回路とアナログ回路のグランド層パターンを分離せず統合した方が有利であるとの実験検証結果が得られた.また,このFM放送波帯においてワイヤハーネスへの伝導雑音電流を低減させることにより,ワイヤハーネスも含めたPCB系全体からの放射エミッションも低減するという相関性も得られた.

キーワード 車載電子機器,ワイヤハーネス,放射エミッション,伝導雑音電流,グランド層パターン

1. まえがき

車載電子機器のEMC(Electromagnetic Compatibility)規格は近年ますます厳しくなっている.車載電子機器は他の電子機器と比べ,電磁雑音を発する機器とその影響を受ける機器とが近接して配置され,その密度は自動車のエレクトロニクス化によりいっそう過密になってきている[1].図1は車載電子機器の実車搭載概念図を示すが,多くの電子機器は単独あるいはシステム化で搭載されており,その電子機器から外部への配線はワイヤハーネス(Wire Harness)と呼ばれる束線形態の線群にコネクタで接続されている.車載電子機器からのエミッションで問題となる事例には,車載ラジオへの雑音混入があり,高価な車両の商品価値を大きくおとしめるため,この種の雑音を車両メーカーは厳しく管理している.特にFMラジオへの受信妨害となる雑音源は電子機器に使用しているCPUのクロックの高調波であることが多いが,そのエミッショ

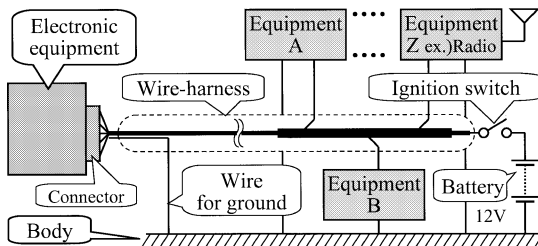


図1 車載電子機器の実車搭載図

Fig.1 Schematic diagram of electronic equipment being actually used in vehicles.

ン源としては,車載電子機器そのものとコネクタから外の部分すなわち車両ワイヤハーネスの双方である可能性があり,それらの特定は容易でない.しかしながら,実際には車載電子機器そのものよりもワイヤハーネスへの伝導雑音電流が雑音源となることが多い[2].このとき,ワイヤハーネスからの伝導雑音電流の流出量はディファレンシャルモードのみであったとしても,他の電子機器へ雑音電流の形で流入する恐れもあり,また図1の如く車両メーカーがワイヤハーネスを分岐させているため,これらの不連続点でモード変換されてコモンモード電流が生じ,車載ラジオに雑音が入るおそれがある.このような問題に対処するには,まず雑音を車載電子機器からワイヤハーネスへ流出させにくいプリント回路基板(PCB:Printed Circuit Board)のグランドパターンの設計を検討する必要がある.そのとき,デジタル回路とアナログ回路とが混在しているPCBにおいては,両方の回路のグランドパターンを分離すべきか結合すべきかが議論の対象となる.

一方,車載電子機器の放射エミッションについては,欧州統一指令(95/54/EC)[3]で車載電子機器からの放射エミッションの測定方法,測定周波数及び規制値が既に規定されている.放射エミッションの測定法を図2,測定周波数を表1にそれぞれ示す.95/54/ECでは,実車を想定したワイヤハーネスと電子機器とをセットにして放射エミッションを測定しなければならないが,その際には電波暗室が必要であり,測定にも手間がかかるため,現場においては簡易な方法での機器評価が望まれている.

このような背景から,本論文は,実際の車載電子機器に使用される多層のPCBからワイヤハーネスへ流出する伝導雑音電流の低減を目的として,デジタル回路とアナログ回路のグランド層パターンを分離/結合

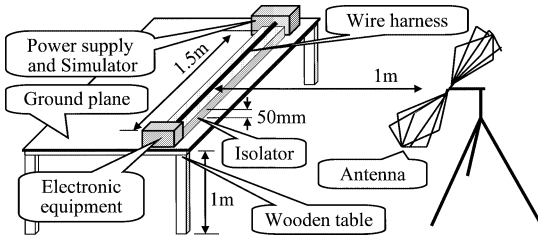


図 2 欧州統一指令 (95/54/EC) による放射エミッション測定方法
 Fig. 2 Measurement method for radiated emissions according to 95/54/EC directive.

表 1 欧州統一指令 (95/54/EC) による放射エミッションの測定周波数 (各バンド内で最大の値を記録する)
 Table 1 Measurement frequency for radiated emissions according to 95/54/EC directive.

Band	Frequency [MHz]	Band	Frequency [MHz]
1	30 - 50	8	250 - 320
2	50 - 75	9	320 - 400
3	75 - 100	10	400 - 520
4	100 - 130	11	520 - 660
5	130 - 165	12	660 - 820
6	165 - 200	13	820 - 1000
7	200 - 250	-	-

した 2 種類の PCB で伝導雑音電流を測定・比較した。また、この場合のワイヤハーネスも含めた PCB 系全体からの放射エミッションも 95/54/EC に従って測定し、同レベルと伝導雑音電流との相関性を検討した。

2. 測定

車載電子機器は小型化を要求されることから、PCB 設計に際してはデジタル回路からの雑音電流が敏感なアナログ回路へ流入しないように PCB 上の回路ブロックごとにデジタルとアナログの両グランドを可能な限り分離独立させ、共通性のある部分で両者を結合する設計が多い。この種の設計に関しては、グランドパターンにスリットが入った場合の検討事例が報告されている [4] ~ [6]。ただし、これらの事例は PCB からの直接ふく射に関するものが多く、ワイヤハーネスへの伝導雑音電流の流出の視点から論じた例は筆者らの知る限り見ない。ここでは、実際的車載電子機器でグランド層パターンの異なる 2 種類の多層 PCB を対象として、ワイヤハーネスへの伝導雑音電流を測定し、デジタル回路とアナログ回路のグランドパターンを分離したものと結合したものとで比較を行った。

2.1 測定対象 PCB

測定対象とした車載電子機器は、加速度等の車両状態を検知してデジタル信号とし、他の電子機器へ信号を送る一種のインテリジェントセンサである。その

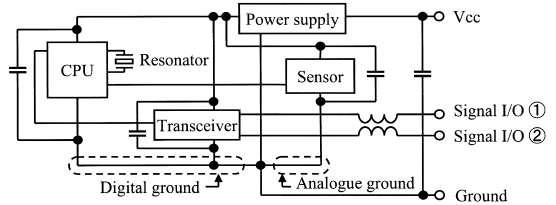
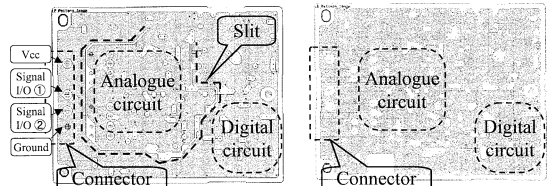


図 3 測定対象とした車載電子機器のブロックダイアグラム
 Fig. 3 Block diagram of electronic equipment used for measurement.



(a) Slit ground type (b) Plane ground type

図 4 車載電子機器のグランド層パターン

Fig. 4 Ground layer patterns of PCBs used for measurement.

ブロック図を図 3 に示す。この電子機器の基板はガラスエポキシの多層基板 1 枚構成であり、樹脂の筐体内に収められている。内層第 2 層が 60 mm × 45 mm のグランド専用のパターンとなっており、部品装着面のグランドパターンと多くのビアで接続されている。なお、二つの層間の誘電体厚は 200 μm である。ここでは、図 3 の PCB として、次のような 2 種類のグランド層パターンを設計・作成した。一つはデジタル回路のグランドとアナログ回路のグランドを分離し、電源回路と CPU の近傍で接続したもの (分離タイプと呼ぶ) と、ほかの一つは全面プレーングランド状にしたもの (結合タイプ) である。これらのグランドパターンの外観を図 4 に示す。なお、CPU クロックの原発振周波数はともに 16 MHz である。

2.2 測定方法

PCB グランドパターン設計の放射エミッションへの影響を評価するためには、本来は 95/54/EC に基づき電波暗室内で広帯域アンテナを用いて測定する必要があるが、ここではまずワイヤハーネスへの伝導雑音電流を電源端子・各信号端子とグランド端子間でのディファレンシャルモードとしてスペクトルアナライザで簡易的に測定した (放射エミッション評価は 3. で後述)。図 5 は伝導雑音電流の簡易測定法を示す (図は電源端子から流出する伝導雑音電流の測定例を描いている)。供試機的車載電子機器にワイヤハーネスを想定し

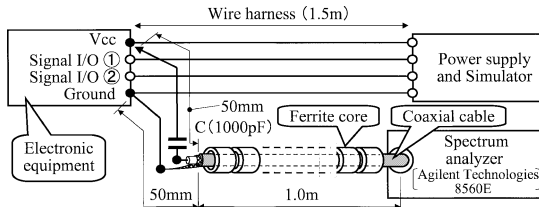


図5 伝導雑音電流の測定方法

Fig. 5 Measurement method for conductive noise currents.

た配線（平行）を接続し、配線の反対側には電源と、供試機を動作させて動作監視のためのシミュレータとを接続した。伝導雑音電流は、PCB 端子からセラミックコンデンサ C を介して 50Ω 同軸ケーブルへ流出する成分をスペクトルアナライザ（Agilent Technologies 8560E）で測定を行った。なお、図中の C は直流を阻止する目的で使用し、その値は FM 放送波帯（76～108 MHz）においてリアクタンスが同軸ケーブルの特性インピーダンス（ 50Ω ）よりも十分小さくなるように 1000 pF とした。なお、同軸ケーブルの中心導体と外皮から PCB 端子までの 2 線の長さは C のサイズも含めて 50 mm である。また共通モード電流の影響を低減させる目的で同軸ケーブルには電磁干渉低減用の市販フェライトコア（TDK 製 HF70BB6.4 × 5 × 3.2）をほぼ全長にわたって装着している。このような簡易評価法をとるのは、実車において伝導雑音電流がワイヤハーネスの不連続点でモード変換されて共通モード雑音電流となることを想定しており、設計段階や現場において気軽に測定できる利点がある。ただし、この測定方法では、 C 及び前記 50 mm の 2 線によって周波数特性が現れる。参考までに記すと、本実験で使用したプローブにて先端を 50Ω 系に接続してネットワークアナライザ（Agilent Technologies 8753ES）で計測した結果、伝送損が 3 dB 以内の周波数範囲は 3～150 MHz 程度である。またバラは使用しておらず、かつ接触測定のため測定を行うこと自体が被測定系に対して影響を与えてしまうが、被測定系が整合回路系ではないということと、被測定系のインタフェースが評価対象項目に対して全く同じ条件であること、つまり比較前後において全く同じ条件で評価を行えるということで、本測定法で伝導雑音電流のハーネスへの流出量の比較として評価できるものと考えた。またこのような簡易測定により、95/54/EC に対する放射エミッションの事前評価にも使用できるものと考えた。

3. 測定結果と考察

前節に基づきスペクトルアナライザで伝導雑音電流の測定を行った。測定周波数は海外を含む FM 放送波帯を考慮して 76～108 MHz としている。図 6 にコネクタ端子ごとの測定結果を示す。図中の線スペクトルは CPU のクロック（発振周波数：16 MHz）の高調波である。これらの図から、クロックの高調波である狭帯域スペクトルの大きさはグラウンド分離タイプよりも、グラウンド結合タイプの方が 5～17 dB 小さいことが分かる。この PCB の場合、FM 放送波帯においては、いずれの出力端子においても、グラウンド層パターンがデジタル-アナログ分離タイプのものよりも、結合タイプのもの方が PCB からの伝導雑音電流の流出量が少なくなるという結果が得られた。

次に、伝導雑音電流に対する簡易評価で得られた知見の妥当性を検証するために、車載電子機器に対して図 2 に示した 95/54/EC による放射エミッションの測定を行った。測定結果を図 7 に示す。図中の点線は 95/54/EC による放射エミッションの規制値を示す。なお、測定値の周波数の異なる部分があるのは、95/54/EC の放射エミッションの測定ルールで 30～1000 MHz を 13 バンドに分け、それぞれの帯域内での放射エミッションの最大値とその周波数を記録したためである。

まず図 7 の結果全体を見ると、グラウンド層パターンを分離から結合と大きく変えているが、ワイヤハーネスも含めた PCB 全体からの垂直偏波放射・水平偏波放射はともに増加する結果にはほぼなっておらず、周波数が低くなるのに従って、放射エミッション値はむしろ減少する傾向になっている。

更に FM 放送波帯（76～108 MHz）を含む Band においてそれぞれ個別に見てみる。グラウンド層パターンを結合とすることによって Band 3（75～100 MHz）におけるエミッション値は、垂直偏波で約 1 dB、水平偏波で約 2 dB 低減している。Band 4（100～130 MHz）においても同様に垂直偏波で約 8 dB、水平偏波で約 3 dB 低減している。これらの結果は図 6 の伝導雑音電流がグラウンド層パターンを分離から結合に変えた結果と同じ傾向を示している。これらのことから、車載電子機器から流出する伝導雑音電流の 2.2 で述べた簡易評価は、FM 放送波帯（76～108 MHz）においてワイヤハーネスも含めた PCB 全体の放射エミッションの予測に有効であることが分かる。

またグラウンドパターンの分離と結合の出発点となっ

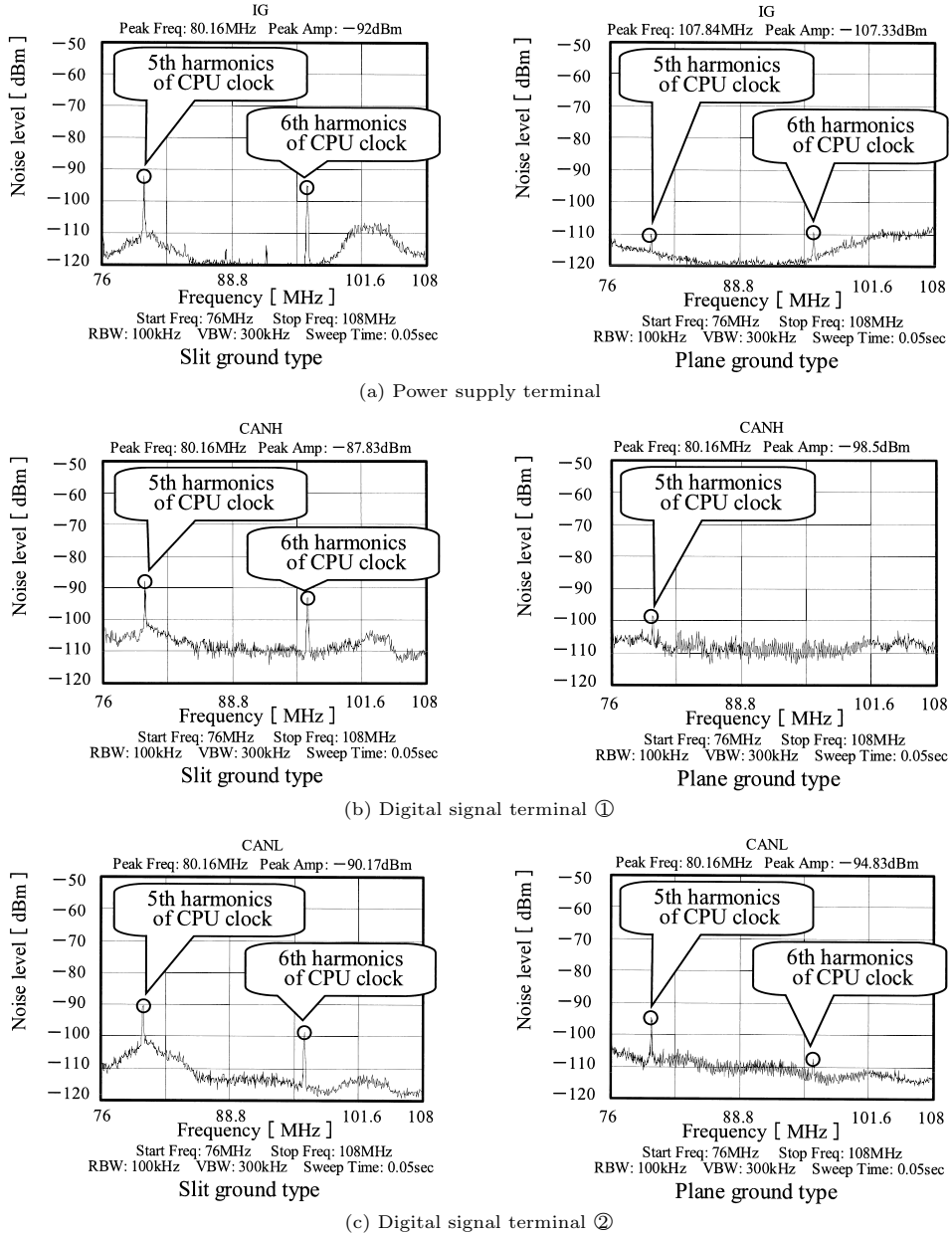


図 6 コネクタ端子における伝導雑音電流の測定周波数スペクトル
 Fig. 6 Measurement of frequency characteristics of conductive noise currents from PCB connectors.

たアナログ回路へのデジタル信号の混入について検証を行うため、作動状態においてセンサ出力の比較を行った。結果を図 8 に示す。このセンサの本来の使用周波数範囲は 100 Hz 以下であるが、この検証のため 100 kHz まで出力値の異常の有無の確認を行った。このセンサは半導体センサとして集積化されており、セ

ンサ素子と約 37 dB の増幅器とを内蔵している。またこのセンサは電源部分が 0.1 μ F のセラミックコンデンサによってデカップリングされている。図に示すように、センサ出力波形はグランド層パターンの分離/結合にかかわらずほとんど同じであることが分かる。このことは、アナログ回路がグランドパターンの影響

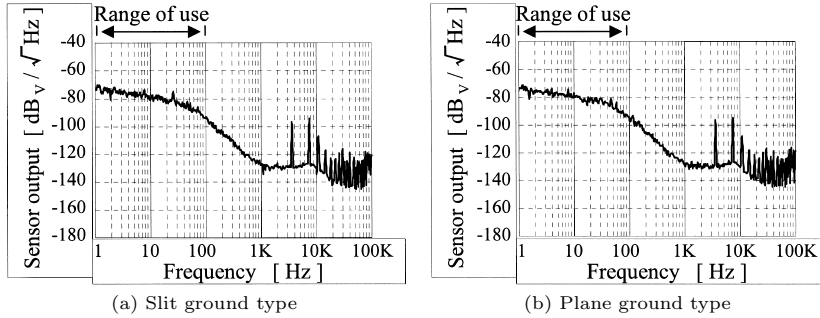


図 8 グランド層パターンに対する伝導雑音電流のアナログ回路への影響（センサの出力）
Fig. 8 Influence of conductive noise currents on frequency characteristics of sensing signal outputs from analogue circuits installed on PCBs with different ground layer patterns.

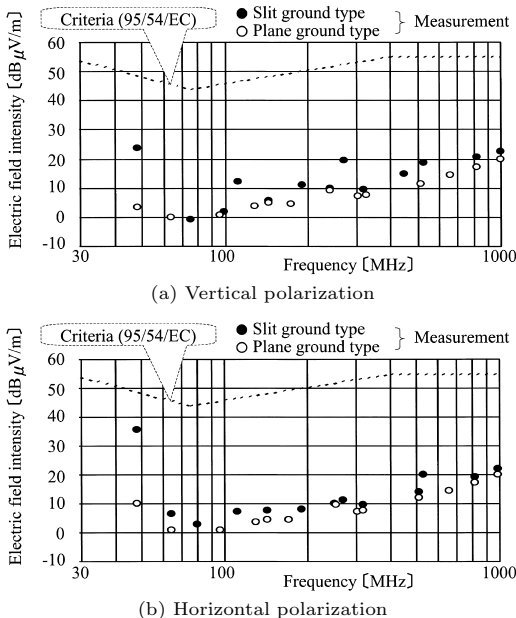


図 7 放射エミッションの測定周波数スペクトル
Fig. 7 Measurement of frequency characteristics of radiated emissions.

を受けていないことを意味する。なお、ここで検討した車載電子機器を複数の実車に搭載し、装着済みのラジオにて FM 放送波帯にて聴感評価を行った。グランド層パターンを分離したモデルでは図 6 (a), (b), (c) の Slit ground type で顕著に観測された、クロックの第 5 高調波である 80 MHz が雑音として確認できたが、グランドパターンを結合したタイプでは雑音は全く確認できなかった。

4. むすび

車載電子機器の多層 PCB ではデジタル回路のグ

ランドとアナログ回路のグランドを分離しない方がワイヤハーネスへの FM 放送波帯の伝導雑音電流の流出を低減できることが実験的に確認でき、更に FM 放送波帯の範囲で、伝導雑音電流の測定結果と、欧州統一指令 (95/54/EC) による放射エミッションの測定結果との間で相関が得られることも実証できた。この結果により、FM 放送波帯において伝導雑音電流のワイヤハーネスへの流出量を低減させることで、ワイヤハーネスを含む PCB 系全体からの放射エミッションも低減できるとの結論を導くことができた。

今後は、本知見が実際の基板設計に活用可能な定量的なものとなるよう PCB グランドのパターン解析を推し進めていく予定である。

文 献

- [1] 前野 剛, “車載電子製品の EMC 対応への取り組み” 17th EMC・ノイズ対策への技術シンポジウム予稿集, April 2003.
- [2] 白木康弘, 菅原賢吾, 田邊信二, 渡辺哲司, 中本勝也, “FM ラジオ帯における連携解析を用いた自動車車室内の電磁界分布の検討及び EMI 設計への応用” 信学論 (B), vol. J88-B, no. 7, pp. 1319-1328, July 2005.
- [3] 欧州委員会指令 95/54/EC, “車両の電磁適合性に関する関係理事会指令 72/245/EEC” Oct. 1995.
- [4] 佐々木雄一, 岡 尚人, “プリント基板上の電源供給導体の分割による絶縁効果の検討” 信学技報, EMCJ2004-1, April 2004.
- [5] 中田洋平, 肖 鳳超, 村野公俊, 上 芳夫, “グラウンドに入ったスロットによる線路間結合について” 信学技報, EMCJ2004-40, July 2004.
- [6] 平山 裕, 上 芳夫, “基板間接続におけるグラウンドに入ったスリットの影響” 信学技報, EMCJ2003-59, Sept. 2003.

(平成 18 年 6 月 23 日受付, 9 月 26 日再受付)