

特集

エアバッグにおけるセンシングバス通信技術*
 —車載通信ネットワークのラジオノイズ推定手法—
 Sensing-bus Communication Technology for Airbags
 - Radiation Noise Estimation in Vehicle-Mounted Communication Networks

前田 登 鈴木洋一朗 岩崎伸幸 井手誠也
 Noboru MAEDA Youichirou SUZUKI Nobuyuki IWASAKI Seiya IDE

The EM noise emission from a vehicle’s wire harness is evaluated by actual measurement test complying with CISPR25 in the development of automotive-mounted LAN. To estimate the noise voltage received by the antenna, the transmitter and the receiver circuits are modeled with S-parameters for common and differential modes. The modeling parameters for the transmitter circuit including the driver IC are obtained from the FFT of the communication signal voltages applying the linear least squares method. In the AM radio band the antenna voltage was estimated with an accuracy of 10dB when the receiver circuit was substituted with a resistor network.

Key words : Electromagnetic compatibility, S parameter, modeling, simulation

1. まえがき

警察庁の発表によると2011年中の交通事故死者数は前年比245人（5.2%）減の4,481人で、過去20年間減少傾向にあったことを反映し、60年ぶりに低い水準となった（Fig. 1）。この要因としては、医療技術の進歩、道路環境・インフラの整備、道路交通法の強化なども挙げられるだろうが、平成以降の死者数の減少とリンクして、装着率が急速に高まったエアバッグの効果も大きいのではないかと考える。

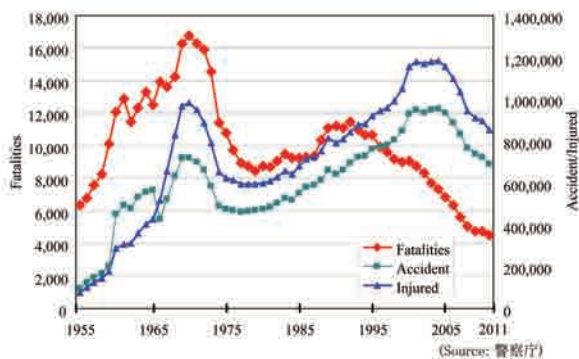


Fig. 1 People Killed and Injured in Traffic Crashes.

最近では、前方だけでなく、側方からの衝突に備えるサイドエアバッグやカーテンバッグなどの装着も進んでおり、それに応じて車両に搭載されるセンサの数も増加している。そのような状況の中、エアバッグシステム全体の制御を掌るECU（Electronic Control Unit）と衝突を検知する複数個のセンサを個別の信号線で接続する従来の構成では限界があり、車載通信ネ

ットワークで接続するためのセンシングバス通信の重要性が高まっている（Fig. 2）。

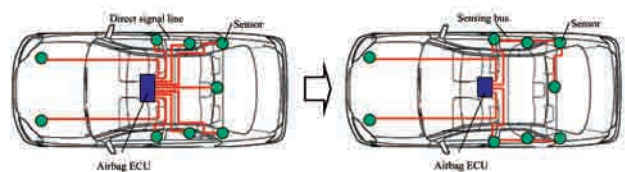


Fig. 2 ECU-Sensor Connection for Airbag System.

2. 車載通信ネットワークの課題

センシングバスのような車載通信ネットワークを実用化するための重要な課題の一つにEMC（Electromagnetic Compatibility）の問題がある。近年、種々の分野へのデジタル制御装置の普及に伴い、機器を誤動作させる電磁ノイズ問題への対応すなわちEMC対策が必要となってきているが¹⁾、自動車内は特に、各種のECUが導体ボデー内にほぼ密閉されて搭載されている環境であり、EMC性能が不十分であると、容易に相互の干渉が生じてしまう。安全のために搭載したエアバッグバスシステムの副作用として他の機器が誤動作するようなことがあっては自己撞着とも言える。これを防ぐため、エアバッグバスの開発に当たっては、発生する電磁ノイズが所定のノイズ規格を満たすよう設計している。このノイズ規格への適合評価試験は広い周波数帯域を対象としているが、車載ラジオへの影響を評価することが原点であるため、ラジオノイズ試験と呼ばれている^{2) 3)}。

*（社）電気学会の了解を得て、「2008年 電気学会全国大会シンポジウム」S25（11）～S25（14）より一部加筆して転載

ラジオノイズ試験への適合設計には、専用設備での測定と設計変更を繰り返す必要があり、長期間を要するため、EMC性能を試験を行なうことなく推定する技術が望まれている⁴⁾。以下、今回開発した、通信系におけるノイズの発生・伝搬を定量モデル化することで、車載機器のAM帯ラジオノイズ試験において、LANハーネスから発生する電磁ノイズを推定する技術について説明する。

3. ラジオノイズ試験構成

対象とする車載電子機器ラジオノイズ試験の構成(CISPR25試験に準拠)をFig. 3に示す。本研究で対象とするエアバッグ通信システムは、差動信号出力であるマスタECU, ツイストペアハーネス, スレーブ回路から構成されている。ハーネスは地板上5cmに1.7m(直線1.5m + 機器配線)の長さ敷設している。マスタECUはシールドケースにて覆い、ハーネスから発生するラジオノイズをアンテナ(アクティブモノポール)での受信ノイズ電圧として測定する。対象とするエアバッグ通信システムではノイズの周波数としてAM帯(510k~1710kHz)が問題となる。

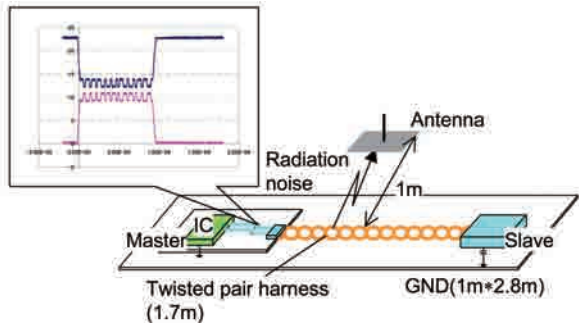


Fig. 3 Radio Noise Bench Test Configuration

4. ノイズ発生・伝搬モデル

ラジオノイズ試験構成 (Fig. 3) において、ノイズの発生・伝搬を差動通信信号のモードであるディファレンシャルモードと、その非対称成分により生じる対地2線平均であるコモンモードの2つの伝搬モードに分けて考える。ノイズの発生・伝搬経路を、マスタECUからディファレンシャルモードとして出力され、スレーブ回路でのモード変換によりコモンモードに変換されアンテナに伝搬する経路(以下Diff→Comとする)と、マスタECUからコモンモードとして出力されコモンモードのままアンテナに伝搬する経路(以下Com→Comとする)に近似的に分けてモデル化するこ

とができる。アンテナ受信ノイズは、Diff→Comの系及びCom→Comの系にて発生・伝搬したノイズの合計として算出できる (Fig. 4)。

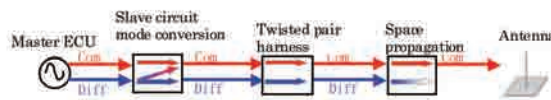


Fig. 4 Noise Generation and Propagation Process

5. Diff→Comの系のモデル化

Diff→Comの系について通信路およびノイズの空間伝搬通信路をSパラメータ^{5) 6)}を用いて数式的にモデル化する (Fig. 5)。マスタECUは、内部回路を信号源と内部Sパラメータから成る等価回路モデルでモデル化する⁷⁾。スレーブ回路は、実測Sパラメータを用いてモデル化する。ハーネスに関しては、今回の周波数帯 (AM帯) においては伝送線路で扱う必要はない。

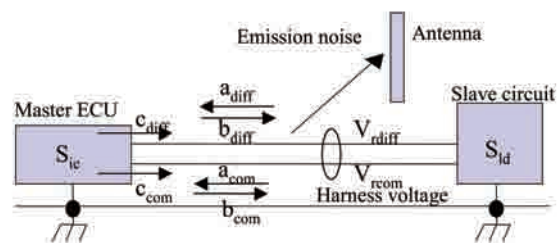


Fig. 5 Diff→Com Route Model

マスタECUに対する入射波と反射波の関係式

$$\begin{bmatrix} b_{diff} \\ b_{com} \end{bmatrix} = S_{ic} \begin{bmatrix} a_{diff} \\ a_{com} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{diff} \\ c_{com} \end{bmatrix} \quad (1)$$

と、スレーブ回路に対する入射波と反射波の関係式

$$\begin{bmatrix} a_{diff} \\ a_{com} \end{bmatrix} = S_{id} \begin{bmatrix} b_{diff} \\ b_{com} \end{bmatrix} \quad (2)$$

より、各モードのハーネス電圧 V_{rdiff} , V_{rcom} は、

$$\begin{aligned} V_{rdiff} &= \sqrt{Z0_{diff}} (a_{diff} + b_{diff}) \\ V_{rcom} &= \sqrt{Z0_{com}} (a_{com} + b_{com}) \end{aligned} \quad (3)$$

として求められる。ZOはハーネスの特性インピーダンスとする。

ツイストペア線から発生するノイズの計算手法としては、文献⁸⁾のような方法があるが、今回は低い周波数帯を対象としているため、次のように計算する。今回の受信アンテナは垂直電界を測定するものであり、対象とする周波数帯では、ハーネス電流より生じる電界は微小かつ水平成分のため無視できる。また、差動電圧により生じる電界も微小であり無視できるので、コモンモード電圧によって生じる電界のみを考える。ここでは地板を無限地板で近似し、V_{rcom}により生じる電界を静電界解析により求め⁹⁾、既知のアンテナファクタを乗ずることで受信ノイズ電圧を算出する。

6. Com→Comの系のモデル化

Com→Comの系について通信路およびノイズの空間伝搬をモデル化する (Fig. 6)。通信路をインピーダンスを用いて数式的にモデル化する。マスタECUは、内部回路を信号源と内部インピーダンスから成る等価回路モデルでモデル化する。マスタECU外部に異なるコモンモードインピーダンスの負荷回路を接続し、その時のマスタECU出力の変化から線形最小二乗法により内部パラメータを推定する⁶⁾。

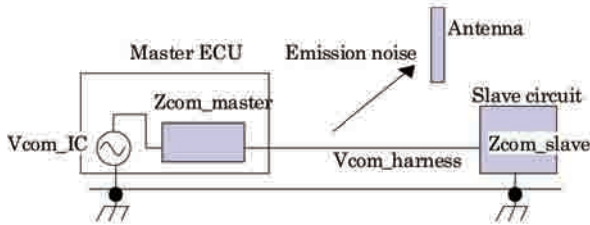


Fig. 6 Com→Com Route Model

マスタECU出力のコモンモード成分の抽出に当たって、差動各線の電圧を測定して平均するとコモンモード電圧が小さいためS/Nが非常に悪くなってしまふ。よって、ここではCISPR25試験系においてアンテナ受信電圧はコモンモード電圧でほぼ決定されることを用い、アンテナ受信電圧からコモンモード電圧を逆算し、その測定値としている。

スレーブ回路は、実測Sパラメータから算出したコモンモードインピーダンスとしてモデル化する。これより、ハーネスでのコモンモード電圧V_{com_harness}は、

$$V_{com_harness} = V_{com_IC} \times \frac{Z_{com_slave}}{Z_{com_master} + Z_{com_slave}} \quad (4)$$

となる。さらに、前節と同様にアンテナまでの空間伝搬を計算し、アンテナ受信ノイズ電圧を算出する。

7. アンテナ受信ノイズ推定結果の評価

ノイズの算出および実測に用いた通信構成をFig. 7に示す。マスタECU回路は固定し、スレーブ回路(抵抗ネットワーク回路で代用)が2種類の場合についてモデル化する。マスタECU回路基板にはコモンモードフィルタを挿入し、マスタ側のコモンモードインピーダンスを上げている。Fig. 7中の1のスレーブ回路(回路の対称性不良、コモンモードインピーダンスは小)を用いた場合、Diff→Comの系におけるノイズが支配的となる。Fig. 7中の2のスレーブ回路(回路の対称性良好、コモンモードインピーダンスは大)を用いた場合、Com→Comの系におけるノイズが支配的となる。

上記2種類の構成各々におけるDiff→Comの系及びCom→Comの系から発生するアンテナ受信ノイズスペクトルを算出し(両者の合計としてアンテナ受信ノイズが計算できるが、ノイズスペクトルの値はdBとして扱うため、支配的となる一方の値が表面化する)、実測と比較する (Fig. 8: 1の非対称なスレーブ回路を用いた場合、Fig. 9: 2の対称なスレーブ回路を用いた場合)。Diff→Comの系及びCom→Comの系のいずれの系から発生するノイズが支配的な場合においても、アンテナ受信ノイズスペクトルのピークは2~3dB以内の精度で算出できる。

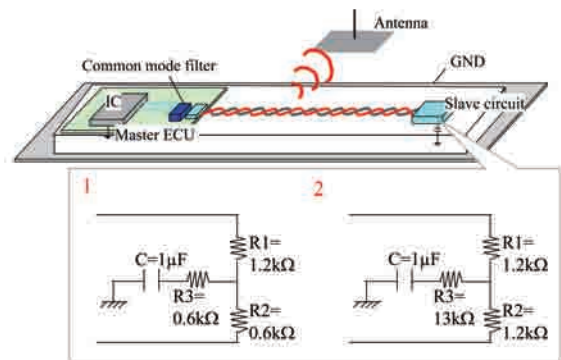


Fig. 7 Modeling and Measurement Configuration

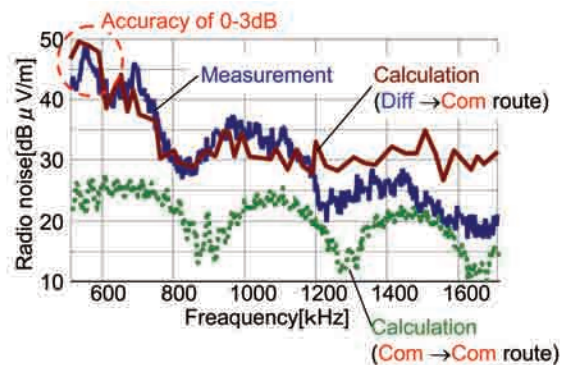


Fig. 8 Calculation and Measurement Result where Impedances in Slave Circuit are Not Symmetric

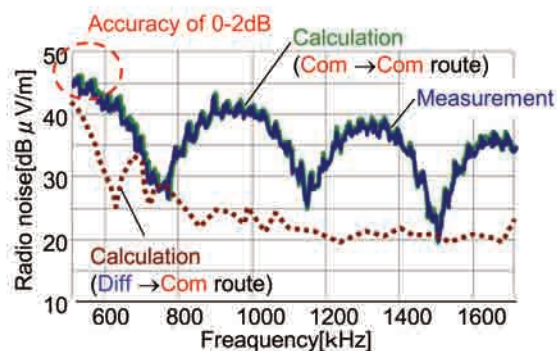


Fig. 9 Calculation and Measurement Result where Impedances in Slave Circuit are Symmetric

8. ラジオノイズ推定のまとめ

車載用差動通信を対象とし、CISPR25準拠のノイズ試験系においてLANハーネスから発生し、計測アンテナで受信されるAM帯の電磁ノイズ電圧を推定する手法について述べた。AMラジオ帯を対象とした場合、ハーネスのコモンモード電圧がアンテナ受信ノイズの源となるため、差動通信信号がモード変換によりコモンモードノイズ化するDiff→Comの系から発生するノイズと、差動通信信号の非対称性より生ずるコモンモードノイズが伝搬するCom→Comの系から発生するノイズに分けてモデル化することで、簡易的なモデルで精度の向上を図った。抵抗ネットワークでスレーブ回路を代用した場合、いずれの系から発生したノイズが支配的な場合においても、アンテナのノイズ受信電圧を実測値に対して2~3dB以内の精度で算出することができ、設計への利用が可能と考える。

9. むすび

冒頭、過去20年間交通事故による死者数は減少傾向にあると述べた。その一方で負傷者数が減少に転じたのは6年前であり、依然として厳しい状態が続いている。今後更に、交通事故による死傷者数を低減していくには、これまでのエアバッグに代表されるパッシブセーフティ・システムに加えて、ブレーキやトラクションを制御するアクティブセーフティ・システムやミリ波やレーザ・レーダを使ったプリクラッシュセーフティ・システムの普及が必要と考えられている。そしてシステムが高度化・複雑化すれば、車載通信ネットワークも高速化・複雑化することになり、更なる高性能化が求められる。本報告で述べたノイズ推定手法は、この様な車載通信技術の高性能化に伴うノイズ

低減設計に有効なツールであり、今後はノイズレス・ノイズフリーのネットワークシステムの構築につなげてゆきたい。

<参考文献>

- 1) 古賀隆治, “日本におけるEMC技術の進歩発展と将来展望,” 信学論 B, Vol. J90-B, No.11, pp1083-1088, Nov. 2007.
- 2) 石丸和寿, 前田 登, 村瀬 隆, 近藤耕治, “車載用LANにおけるコモンモード電流の推定,” 信学技報, EMCJ2005-121, pp41-44, Dec. 2005.
- 3) 平山雅人, 前田 登, 市川浩司, 稲垣正史, 櫻井礼彦, “イミュニティ試験装置のSパラメータによるモデル化,” 信学技報, EMCJ2005-128, pp7-10, Jan. 2006.
- 4) Y. Suzuki, N. Maeda and N. Iwasaki, “Circuit Specifications for Radio Noise Reduction in Vehicle-Mounted Communication Network”, IEEE EMC Symposium 2007.
- 5) 内藤喜之, 情報伝送入門, 昭晃堂, 1976.
- 6) 小澤孝夫, 電気回路II, 昭晃堂, 1980.
- 7) 鈴木洋一郎, 前田 登, 岩崎伸幸, “車載通信ネットワークにおけるラジオノイズ推定手法”, 信学技報, EMCJ2006-89, pp.47-52, Dec. 2006.
- 8) 濱田清司, 牧 昌弘, 下塩義文, 徳田正満, 桑原伸夫, “平衡度を考慮した解析法によるツイストペアケーブル放射電磁界特性,” 信学論B, Vol.86-B, No.4, pp.703-713, April 2003.
- 9) 卯本重郎, 電磁気学, 昭晃堂, p126, 1975.

<著 者>



前田 登
(まえだ のぼる)
株日本自動車部品総合研究所
研究2部 22研究室
車載電子機器のEMC技術開発
に従事



鈴木 洋一朗
(すずき よういちろう)
株日本自動車部品総合研究所
研究2部 22研究室
TPMSの技術開発に従事



岩崎 伸幸
(いわさき のぶゆき)
走行安全技術3部 第1開発室
センサ通信の開発に従事



井手 誠也
(いで せいや)
走行安全技術1部 第3技術室
車載電子機器の開発・設計に
従事