

# 多線条線路理論による車載ワイヤーハーネスの伝送特性評価モデル

## B-4 Evaluation of Transmission Characteristics for Automotive Wiring Harnesses using Multi-Conductor Transmission Line Theory

山村 光卓<sup>†</sup> 上 芳夫<sup>†</sup> 村野 公俊<sup>††</sup> 肖 鳳超<sup>†</sup>  
 Mitsutaku YAMAMURA<sup>†</sup> Yoshio KAMI<sup>†</sup> Kimitoshi MURANO<sup>††</sup> Fengchao XIAO<sup>†</sup>  
<sup>†</sup> 電気通信大学 <sup>††</sup> 東海大学

<sup>†</sup> The University of Electro-Communications

<sup>††</sup> Tokai University

### 1. はじめに

近年、自動車の EMC (ElectroMagnetic Compatibility: 電磁環境両立性) 問題を解明する必要性が増している。本稿では、ワイヤーハーネスに着目し、EMC を考慮した配線設計を簡易に行うための伝送特性評価モデルを提案する。

### 2. 多線条伝送線路理論

#### 2.1 電信方程式

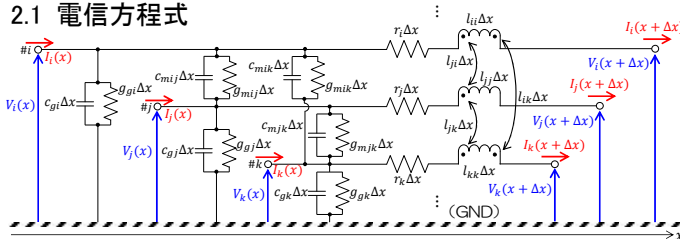


図 1 多線条伝送線路の微小部分の等価回路

ハーネスを多線条伝送線路とみてモデル化を行うことを考えると、微小長 $\Delta x$ の区間は図 1 の等価回路で表せる。微小部分において一様である、単位長あたりの抵抗、インダクタンス、コンダクタンス、キャパシタンスに関する行列をそれぞれ  $\mathbf{R}, \mathbf{L}, \mathbf{G}, \mathbf{C}$  とすると、電信方程式は次式のようになる[1]。

$$-\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} \mathbf{V}(x) \\ \mathbf{I}(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{R} + j\omega\mathbf{L} \\ \mathbf{G} + j\omega\mathbf{C} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}(x) \\ \mathbf{I}(x) \end{bmatrix} = \mathbf{M}(\omega) \begin{bmatrix} \mathbf{V}(x) \\ \mathbf{I}(x) \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1)式より各区間の F 行列を得、それらを縦続することにより、ハーネス全体を回路網モデル化する。(1)式は各線の結合を表すパラメータを含むため、行列の対角化を用いて解く。

**2.2 状態変数法** (1)式の係数行列  $\mathbf{M}$  を直接対角化することで、数学的に微分方程式を解く手法である。区間長  $l$  に対する F 行列は次式に帰着される[1][2]。

$$\mathbf{F} = (\mathbf{e}^{-\mathbf{M}l})^{-1} \quad (2)$$

**2.3 モード分解法**  $\mathbf{ZY}$  および  $\mathbf{YZ}$  を対角化して、互いに独立・直交な電圧および電流の伝搬モードの組に対して単相系の電信方程式を拡張する手法である。モード伝搬定数行列を  $\boldsymbol{\gamma}_m$ 、モード特性インピーダンス行列を  $\mathbf{Z}_{0m}$  とすると、

$$\mathbf{F}_m = \begin{bmatrix} \cosh(\boldsymbol{\gamma}_m l) & \mathbf{Z}_{0m} \sinh(\boldsymbol{\gamma}_m l) \\ \mathbf{Z}_{0m}^{-1} \sinh(\boldsymbol{\gamma}_m l) & \cosh(\boldsymbol{\gamma}_m l) \end{bmatrix} \quad (3)$$

として、区間長  $l$  に対するモード F 行列が得られる[1][2]。

### 3. 提案モデルの検証

3 種類の自動車用電線を撚り合わせて 2 本のケーブルを製作し、図 2 に示すように、途中で分岐するように配線した 5 本線路系にて提案モデルを検証した。 $\mathbf{R}, \mathbf{L}, \mathbf{G}, \mathbf{C}$  の各パラメータは、筆者らの提案する近似導出式[2]を用いて、周期的に変化する線路系の断面形状から求めた。

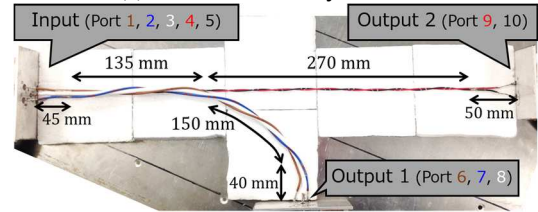


図 2 検証実験系

### 4. 結果

S パラメータについて、ネットワーク・アナライザ(Agilent E5071B)による実測値と、各手法を用いて得た F 行列から変換した提案モデルの理論値の比較を図 3~8 に示す。

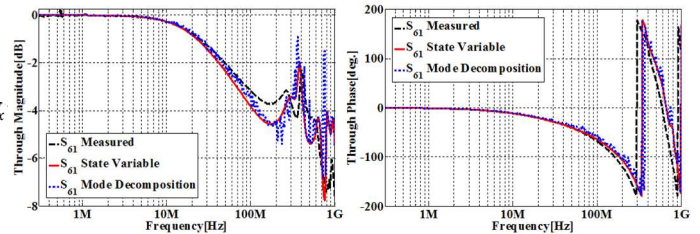


図 3 通過特性  $S_{61}$  (振幅)

図 4 通過特性  $S_{61}$  (位相)

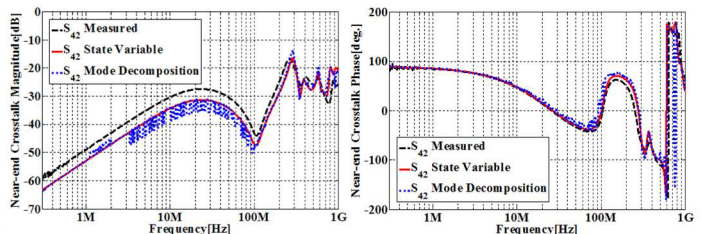


図 5 近端結合  $S_{42}$  (振幅)

図 6 近端結合  $S_{42}$  (位相)

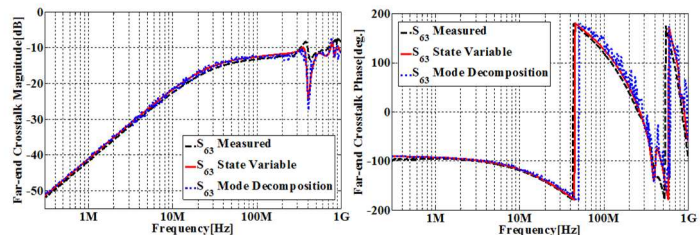


図 7 遠端結合  $S_{63}$  (振幅)

図 8 遠端結合  $S_{63}$  (位相)

### 5. まとめ

検証周波数において各理論値は実測値と概ね一致したので、提案モデルは有効である。モード分解法によって物理的に伝搬モードを考慮するより、状態変数法によって数学的に方程式を解く方が、実験に近い結果が得られた。

#### 参考文献

- [1] C.R. Paul, "Analysis of Multiconductor Transmission Lines," 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [2] 山村他, 信学技報, vol.115, no.427, EMCJ2015-104, pp.7-12, Jan. 2016.