

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820098

研究課題名(和文)コネクタの緩みによる1GHz超の電磁環境劣化メカニズムの解明

研究課題名(英文) Investigation of a Mechanism of Noise Immunity Degradation due to a Contact Failure at Interconnection Parts

研究代表者

林 優一 (HAYASHI, YUICHI)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：60551918

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、コネクタの緩みにより接触境界面において増大する高周波寄生素子成分を測定装置と親和性の高い同軸コネクタを用いて推定し、等価回路網を与え、得られた等価回路網に基づき、汎用的なコネクタにも適用可能な緩みモデルを構築し、コネクタに緩みが発生した場合に生ずる電磁環境劣化を予測可能とすると共に、情報セキュリティの観点から、コネクタに緩みの生じた情報システムからの情報漏えいリスク評価を行った。さらに、これらの知見を基に、1GHz超の周波数帯におけるコネクタの緩みによる電磁環境劣化メカニズムの解明とコネクタに求められる接触性能要件を与えた。

研究成果の概要(英文)：This research project investigated the mechanism of noise immunity degradation due to a contact failure at interconnection parts. We focused on a loose connector between a pair of electrical devices operating in the high-frequency band. We analyzed the effect of a loose contact on electromagnetic field radiation from a transmission line and investigated the mechanism of noise immunity degradation. Based on this mechanism, to predict the immunity degradation at design/development stages, an equivalent circuit was provided. Moreover, an effect of contact failure on information system was evaluated from the viewpoint of hardware security. Finally, on the basis of above results, this project provided insights about contact performance requirements for interconnection parts in information communication devices under high frequency band, say 1GHz or more.

研究分野：環境電磁工学

キーワード：電磁環境 コネクタ 接触不良 伝送線路 電気接点 相互接続 電磁情報セキュリティ サイドチャネル攻撃

### 1. 研究開始当初の背景

近年、電子機器の動作速度の高速化に伴い、高周波帯域における放射電磁雑音の規制が求められている。特に、CISPR22 などの規格改正により、規制対象となる放射電磁雑音の周波数帯域の上限が 1GHz から最大で 6GHz まで拡大されると共に、パソコン、プリンターなどの情報技術装置及びテレビ、DVD・HDD レコーダーなどの放送受信機を含む情報機器全般が規制対象となる。こうした規制改正対応のために、1GHz 超の周波数帯における各々の機器に対する放射電磁雑音の抑制法や計測手法が検討されている。一方で、上述の規制対象となる情報機器は単体で利用される事は少なく、利用者自身が目的に応じて相互接続して利用するケースがほとんどである。このような状況下において、コネクタなどの接触性能を良好に維持するために十分な接触力が必要となるが、ユーザが手締めなどを行うことで、コネクタに緩みなどの接触性能劣化が生じ、接触抵抗値は伝送系インピーダンスに比較して小さいので損失は小さいが、その抵抗に起因した伝送路から周囲への放射雑音や伝送路への雑音混入などの電磁環境の劣化が発生する可能性がある。しかし、接触性能劣化に起因した雑音放射の問題に関しては、これまで、コネクタなどの部品に定性的に良好な接触性能が求められるのみで、CISPR を初めとする EMC 規格規制に含まれる測定法において、放射電磁雑音測定時の相互接続部に求められる接触性能要件などは与えられていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、ノイズ規制が厳格化する 1GHz 超の高周波帯で、コネクタの緩みによる電磁環境劣化を抑制するために、接触境界面の等価回路網推定から電磁環境劣化メカニズム解明まで下記 4 項目を目的とする。

(1) 緩みを有するコネクタ接触境界面の等価回路網の推定：計測器と親和性の高い SMA コネクタを対象に締め付けトルクを管理しながら、TDR 法を用いて緩みが生じたコネクタの接触境界面の高周波応答を伝送される信号ロスが 0.1dB 以内の範囲で測定し、等価回路網を推定する。また、回路網を構成する高周波素子の最悪値も計測より求める。

(2) 汎用的なコネクタ緩みモデルの構築及び電磁環境劣化予測手法の開発：上記(1)の等価回路網とコネクタの接触状態を表す物理パラメータ（接触点の分布、接触点の数、接触抵抗値）との対応関係から、緩みによって変化するパラメータを抽出し、コネクタの幾何形状に依存しない汎用的なモデルを構築する。さらに、等価回路網を汎用的なモデルを用いて一般化し、等価回路とシンプルなアンテナ構造を組み合わせて雑音放射を予測する手法を開発する。

(3) コネクタに緩みの生じた情報システムからの情報漏えいリスク評価：上記(2)で行う放

射電磁波の予測は可用性低下の問題であるが、1GHz 超の EMC 規制規格で対象となる情報技術装置、放送受信装置などの情報機器には機密性・完全性も求められている。そのため、EMC 分野においても、近年活発に議論が進められている電磁波による情報漏えいに着目し、コネクタの緩みがシステムにおける機密性、完全性に与える影響を実験的に評価する。

(4) コネクタの緩みによる電磁環境劣化のメカニズム解明：上記(2)で得られたモデルを用いて、相互接続部の緩みにより引き起こされる電磁波伝搬の乱れを FDTD 法によるシミュレーションを用いて解析し、コネクタの接触境界表面の電磁界の伝搬を可視化することで電磁環境劣化のメカニズムを解明する。また、得られたメカニズムを基に 1GHz 超の高周波領域においてコネクタなどの相互接続部に求められる接触性能要件を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、上述の研究目的を 2 年間で達成することを目指す。平成 25 年度は、コネクタの緩みにより接触境界面において増大する寄生素子成分を測定装置と親和性の高い SMA 同軸コネクタを対象とし、TDR 法を用いて推定する。観測された寄生素子成分にもとづき等価回路網を推定する。続いて、等価回路網を基にコネクタの幾何形状に依存しない汎用的な緩みモデルを構築する。また、等価回路網とシンプルなアンテナ構造を用いて雑音放射を予測可能とする。平成 26 年度はコネクタに緩みの生じた情報機器からの情報漏えいリスク評価を機器の暗号処理時に放射される電磁波を用いて行う。また、これと並行して、汎用的な緩みモデルを用いて、コネクタの緩みにより引き起こされる電磁波伝搬の乱れを時間領域差分法を用いたシミュレーションを用いて解析し、電磁界伝搬を可視化することで電磁環境劣化のメカニズムを解明する。得られた結果を基に高周波数帯における良好な電磁環境確保のためにコネクタに求められる接触性能要件を与える。

### 4. 研究成果

平成 25 年度は、交付申請書の各項目に対応して以下の 2 項目について研究を行った。

(1) 緩みを有するコネクタ接触境界面の等価回路網の推定

計測器と親和性の高い SMA コネクタを対象に締め付けトルクを管理しながら、TDR 法を用いて緩みが生じたコネクタの接触境界面の高周波応答を伝送される信号ロスが 0.1dB 以内の範囲で測定し、等価回路網の推定を行った。

(2) 汎用的なコネクタ緩みモデルの構築及び電磁環境劣化予測手法の開発

上記(1)の等価回路網とコネクタの接触状態を表す物理パラメタ(接触点の分布、接触点の数、接触抵抗値)との対応関係から、緩みによって変化するパラメタを抽出し、コネクタの幾何形状に依存しない汎用的なモデルを構築した。さらに、等価回路網を汎用的なモデルを用いて一般化し、等価回路とシンプルなアンテナ構造を組み合わせて雑音放射を予測する手法を開発した。

平成 26 年度は、交付申請書の各項目に応じて以下 2 項目について研究を行った。

(1) 相互接続部に緩みを有する情報機器からの放射電磁波を通じた情報漏えいリスク評価: 汎用的な緩みモデルを情報機器に適用し、前年度に行った情報セキュリティ確保に求められる 3 要素の 1 つである可用性の評価に相当する放射電磁波予測に加え、残りの 2 要素となる完全性・機密性の評価を行った。評価対象は情報機器の暗号処理時に発生する放射電磁波に含まれる機密情報とした。漏えい源にはサイドチャネル攻撃評価ボード SASEBO を用い、申請者が開発した暗号ハードウェアモデルに汎用的な緩みモデルを接続し、評価対象の情報機器とした。評価には既存設備である EMC スキャナを用い、コネクタに緩みなどの不整合部を有する暗号ハードウェアから生ずる漏えい電磁波を網羅的に観測及び解析することで情報漏えいのリスク評価を行った。

(2) 接触境界表面及び周囲の電磁界伝搬の可視化に基づくメカニズム解明: 前年度に得られたモデル用いて、緩みの生じたコネクタの接触境界表面及び周囲の電磁界分布を FDTD 法により解析した。解析の際には緩みモデルを特性インピーダンスが 50 の同軸伝送路に接続し、伝送路に対して TEM モードで電磁波を励振した。励振信号は 1GHz 超の周波数を含む立ち上がりの鋭いガウシアンパルスとし、接触境界表面における電磁界の乱れを可視化することでメカニズムを解明した。得られたメカニズムを基に 1GHz の高周波領域における機器相互接続部のコネクタに求められる接触性能要件を接触部の幾何的性質を基に与えた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

- (1) T. Sato, Y. Hayashi, T. Mizuki, H. Sone, "Simulation-based Analysis of Inductance at Loose Connector Contact Boundaries," ICEC 2014; The 27th International Conference on Electrical Contacts, pp. 1-4, 2014. (査読あり)

- (2) Y. Hayashi, N. Homma, T. Mizuki, T. Aoki, H. Sone, "Efficient Method for Estimating Propagation Area of Information Leakage via EM Field," 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility Tokyo, no. 14P2-A1, pp. 301--304, 2014. (査読あり)
- (3) Y. Hayashi, T. Mizuki and H. Sone, "Investigation of Noise Interference due to Connector Contact Failure in a Coaxial Cable," IEICE Trans. Electronics, vol.E97-C, no.9, pp.900-903, 2014. (査読あり)
- (4) K. Uehara, Y. Hayashi, T. Mizuki and H. Sone, "Evaluation of Resistance and Inductance of Loose Connector Contact," IEICE Trans. Electronics, vol.E96-C, no.9, pp.1148-1150, 2013. (査読あり)

[学会発表](計 7 件)

- (1) 佐藤友哉, 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭, "接触不良による接触点の減少とインダクタンス値増加の関係," 電子情報通信学会総合大会, B-4-20, p. 1, 2015.3.12, 滋賀県. (査読なし)
- (2) 佐藤友哉, 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭, "電磁界シミュレーションを用いたコネクタ接触不良部における電流路の解析," 計測自動制御学会東北支部 50 周年記念学術講演会, 資料番号 C301, pp.176-179, 2014.12.12, 宮城県. (査読なし)
- (3) T. Sato, Y. Hayashi, T. Mizuki, and H. Sone, "Fundamental Study on a Mechanism of Increased Inductance due to Connector Contact Failure," 電子情報通信学会技術研究報告, EMD2014-89, pp. 139-142, 2014.11.30, 北海道. (査読なし)
- (4) 佐藤友哉, 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭, "コネクタ接触不良部近傍の磁界分布に基づく電流路の推定," 電子情報通信学会総合大会, C-5-3, p. 3, 2014.3.18, 新潟県. (査読なし)
- (5) 林優一, "電磁波が引き起こすスマートデバイスからの音情報の漏えいに関する基礎検討," 電気学会研究会資料, EMC-14-5, pp. 17-20, 2014.2.17, 大分県. (査読なし)
- (6) 佐藤友哉, 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭, "緩みを有するコネクタの接触境界における電流分布解析," 計測自動制御学会東北支部第 285 回研究集会, 資料番号 285-5, 2013.12.7, 宮城県. (査読なし)
- (7) 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭, "Investigation of Noise Interference due to Connector Contact Failure in a

Coaxial Cable,” 電子情報通信学会技術  
研究報告, EMD2013-82, pp. 31-33,  
2013.11.16, China. (査読なし)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

林 優一 ( HAYASHI, YUICHI )

東北大学・大学院情報科学研究科・准教

授

研究者番号 : 60551918