

計測自動制御学会東北支部 第 285 回研究集会 (2013.12.7)

資料番号 285-5

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

An Analysis of Current Distribution at Loosened Connector Contact Boundary

○佐藤友哉, 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭

○Tomoya SATO, Yu-ichi HAYASHI, Takaaki MIZUKI, Hideaki SONE

東北大学

Tohoku University

キーワード： 電磁両立性 (Electromagnetic Compatibility), 接触不良 (Contact Failure),
コネクタ (Connector), 迂回電流 (Bypass Current)

連絡先： 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6 番 3 号 東北大学サイバーサイエンスセ
ンター・本館・曾根・水木研究室

佐藤友哉, Tel.: (022)795-6094, Fax.: (022)795-6096, E-mail: b0tb2103@s.tohoku.ac.jp

1. はじめに

電子機器には電磁両立性 (Electromagnetic Compatibility; EMC) が求められており、機器のエミッション及びイミュニティの規制値を定めた規格が設けられている^{1,2)}。規格適合試験時には個々の機器に対して評価が行われるが、実際にユーザーが電子機器を利用する際はコネクタを手締することで機器同士を接続することが多く、接続に十分なトルクが加えられずに接触性能が低下する恐れがある。このようにトルクが管理されないコネクタの接触境界部では、抵抗値やインダクタンス値が増大し接触不良が

発生する。さらにこうした接触不良部に電流が流れることにより、電位差が生じ、それを電圧源とする電磁放射が引き起こされる^{3,4)}。特に接触不良部を流れる電流が高周波化すると、接触不良部におけるインダクタンスの増大値が一定の場合でも、電磁波の放射強度が増大することが明らかとなっており、接触境界部におけるインダクタンス値増大のメカニズム解明はその抑制を行う上で有益であると考えられる。

インダクタンス値増大の要因として、接触不良部における電流路長の増大が過去において検討されているが⁵⁾、電流路に

簡易化のための仮定が用いられており、電流路長の変化に関する検討は十分になされていない。

そこで、本稿ではインダクタンス値増大の原因と言われる電流路長の変化の様子を明らかにする。実験による電流分布の観測は困難なため、接触不良部をモデル化し、時間領域差分法 (Finite-difference time-domain method; FDTD method) を用いた数値解析により電流路長の変化を解析する。

2. コネクタ接触不良モデル

コネクタ部の接触面は Fig. 1 に示すように、微細な凹凸により互いに接触している点と非接触な面が存在しており、接触点に電流が流れる⁶⁾。十分なトルクが加えられている場合は非常に多数の点が接触しており (Fig.1 (a))、接触分布は境界面全てにおいて面接触しているとみなせるが、緩みなどによりトルクが不十分な状態になると接触点数の減少に伴い接触分布が変化し、接触面はまばらな点接触となる (Fig.1 (b))。

過去の検討において、緩みによる接触分布が変化した際の接触面を模擬した接触不良モデルが提案されており⁷⁾、本稿でもこれを用いる。Fig. 2 にモデルの形状を示す。コネクタ部に十分なトルクが加えられて緩みのない状態を4分の1間隔で点接触している 4 Points モデル、コネクタ部の緩みにより外部導体に接触不良が生じている状態を 1 Point モデルを用いて表す。1 Point モデルは、接触点が一極端に少ない場合を模擬したモデルとなっているが、本稿では、接触不良部での電

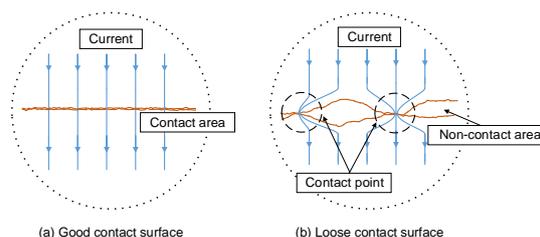


Fig. 1 Contact surface

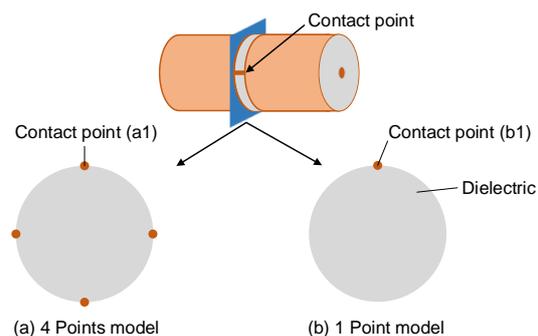


Fig. 2 Contact failure models

流路長の変化を観測することを目的とするため、変化の観測が容易な 1 Point モデルを用いた。

3. シミュレーション

3.1 解析空間

本解析に用いた緩みが生じたコネクタ部を有するケーブルの全体図を Fig. 3 に示す。ケーブルの形状は同軸ケーブルを想定して円筒形とした。ケーブルの両端は完全導体を配置することで短絡し、ケーブル端の一方から電圧源として振幅 1 V、EMC 放射試験の上限周波数を想定したカットオフ周波数 1 GHz のガウシアンパルスを印加することで伝送信号を発生させ、外部導体を流れる電流とした。セルサイズは $\Delta x = 0.25 \text{ mm}$, $\Delta y = \Delta z = 0.15 \text{ mm}$ とし、吸収境界条件は良好な精度を持つ PML を採用した。

ケーブル断面の形状を Fig. 4 に示す。50 Ω の同軸ケーブルをモデル化するため、

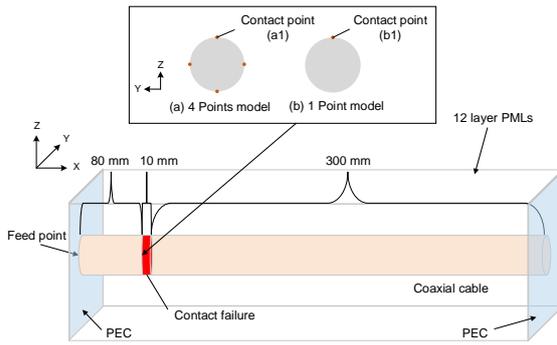


Fig. 3 FDTD simulation environment

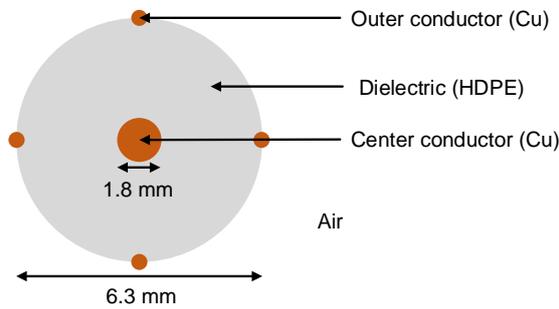


Fig. 4 Cable cross section

中心導体の外径を 1.8 mm、外部導体の内径を 6.3 mm とした。また、中心導体、外部導体として銅（導電率 5.8×10^7 S/m）、誘電体として高密度ポリエチレン（比誘電率 2.3）を用いた。

接触不良部について、接触点の大きさを 1 セルとし、接触点の位置から外部導体を X 軸方向に伸ばして両ケーブルの外部導体と一続きにすることで点接触を再現した。また、非接触面は外部導体を配置せず、誘電体を配置することで再現した。

3.2 シミュレーション結果

電圧源としてパルス波を印加した際の各モデルの接触点における電流量の時間変化を解析した。また、1 Point モデルについて、接触境界面における X 軸方向の磁界分布と接触境界面から電圧源の方向

に向かって 2.5 mm 離れた位置における X 軸方向の磁界分布を解析した。

4 Points モデルの接触点 a1 (Fig. 2 (a)) と 1 Point モデルの接触点 b1 (Fig. 2 (b)) の各接触点における電流量の時間変化を Fig. 5 に示す。接触点 b1 では接触点 a1 に比べて電流量が増大し、ピークに達するまでの時間が長くなった。

続いて、1 Point モデルの接触境界面における磁界分布として、励振パルスが接触境界部に到達する時間である 0.684 ns と、到達後となる 0.912 ns における X 軸方向の磁界分布を Fig. 6 に示す。また、接触境界面から 2.5 mm 離れた位置における 0.684 ns, 0.912 ns における X 軸方向の磁界分布を Fig. 7 に示す。パルス波が接触境界面に到達した後 (Fig. 6 (a)) は接触境界面上で X 軸方向の磁界が発生し始めるが、この時は接触境界面の手前では X 軸方向の磁界は存在しない (Fig. 7 (a))。時間経過により接触境界面上における X 軸方向の磁界が大きく分布するようになると (Fig. 6 (b))、接触境界面の手前でも X 軸方向の磁界が観測された (Fig. 7 (b))。

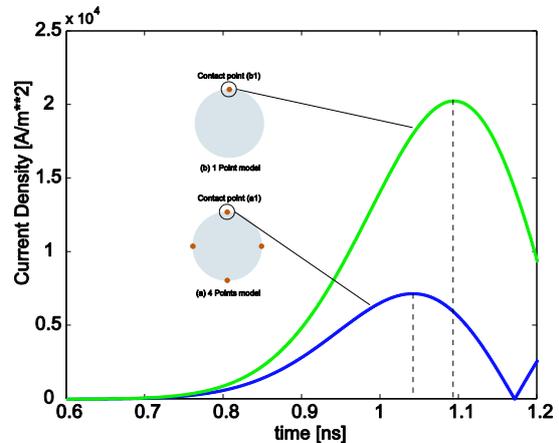


Fig. 5 Current density at the contact point

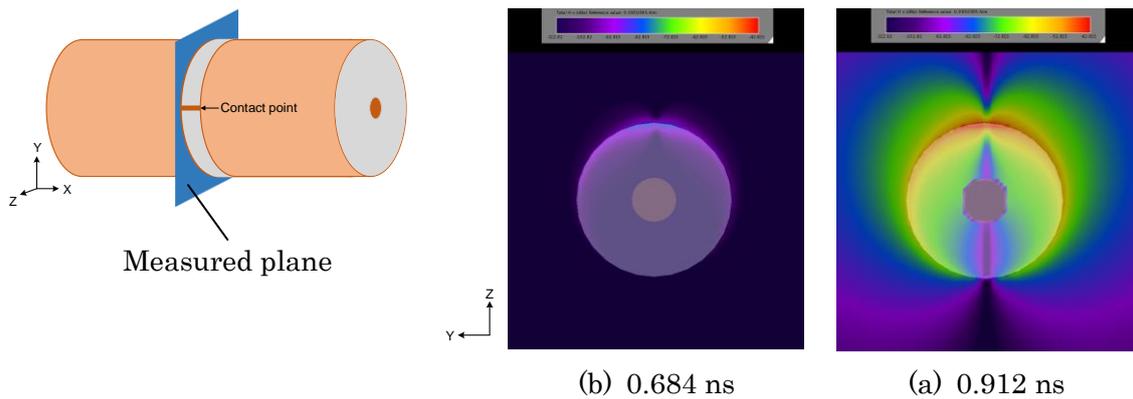


Fig. 6 Magnetic field distribution at the contact surface

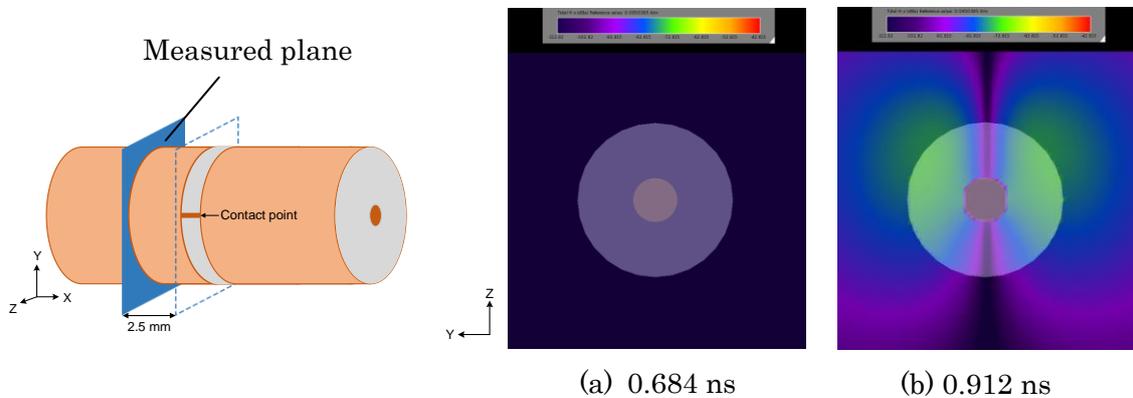


Fig. 7 Magnetic field distribution at 2.5 mm away from the contact surface

4. 電流路長の変化に関する考察

Fig. 5 の結果より、1 Point モデルにおける接触点 b1 では 4 Point モデルの接触点 a1 に比べて電流量が変化し、ピークに達するまでの時間が長くなったことから、電流の迂回が生じたと考えられる。

続いて、1 Point モデルの X 軸方向の磁界分布を解析した結果、Fig. 6 (a), (b) において X 軸方向の磁界が増大していることが観測された。一般に同軸ケーブル内部において、磁界は Y, Z 軸方向のみに生じ、X 軸方向には生じない。そのため、X 軸方向に磁界が発生した場合、周方向に電流が発生したこととなり、これが電流路長を増加させている要因であることが

わかる。また、Fig. 6 (a), Fig. 7 (a) を比較すると同一時刻において接触境界面には X 軸方向の磁界が存在し、接触境界面の手前には X 軸方向の磁界が存在していない。この結果より、外部導体を流れる電流が初めて接触境界面に達するまで周方向の電流は発生しないことがわかる。接触境界面よりも手前では Fig. 7 (a), (b) より、時間経過により X 軸方向の磁界が発生するため、接触境界面において初めに X 軸方向の磁界が生じ、時間経過とともに接触境界面から離れた位置でも X 軸方向の磁界が発生しており、接触境界面から離れた位置でも電流の迂回が生じていることがわかる。従って、迂回電流が

発生する区間が存在し、この区間内の電流路長の増大によってインダクタンス値が増加すると言える。

5. 結論

本稿では、接触不良により生ずるインダクタンス値の増加を、電流路長の変化としてとらえ、その変化の様子について FDTD 法を用いて解析した。その結果、接触不良を有するコネクタの接触境界面において、電流は接触点に向かって周方向に迂回していることを示す電流量の増大と X 軸方向の磁界が観測された。さらに、X 軸方向の磁界は接触境界面において初めに生じ、時間経過により接触境界面から離れた位置でも発生するという現象が観測された。これにより、迂回電流は一定の区間で発生し、この区間における迂回電流による電流路長の増大がインダクタンス値の増大を引き起こす要因であることを明らかにした。

今後の課題として、迂回電流が発生する区間の定量解析や電流路長の変化によるインダクタンス値の変化を解析することが挙げられる。

文献

- 1) Voluntary Control Council for Information Technology Equipment (VCCI), <http://www.vcci.jp>
- 2) Federal Communications Commission (FCC), <http://www.fcc.gov>
- 3) Y. Hayashi, T. Mizuki and H. Sone: Analysis of Electromagnetic Radiation from Transmission Line with Loose Contact of Connector, IEICE Trans. Electronics, vol.E94-C, no.9, 1369/1374 (2011)

- 4) 松田和樹, 林優一, 水木敬明, 曾根秀昭: コネクタの緩みによる放射電磁雑音増大のメカニズムに関する一検討, 電気学会論文誌 A, vol. 132, no. 5, 373/378 (2012)
- 5) K. Matsuda, Y. Hayashi, T. Mizuki and H. Sone: Mechanism of Increase in Inductance at Loosened Connector Contact Boundary, IEICE Trans. Electronics, vol.E95-C, no.9, 1502/1507 (2012)
- 6) Greenwood, J. A.: Constriction resistance and the real area of contact, British Journal of Applied Physics 17.12, 1621 (1966)
- 7) Y. Hayashi and H. Sone: Fundamental Measurement of Electromagnetic Field Radiated from a Coaxial Transmission Line Caused by Connector Contact Failure, IEICE Trans. Electron., vol. E91-C, no.8, 1306/1312 (2008)