

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H04318

研究課題名(和文)安全・安心な電気・電子機器の低ノイズ設計実現に不可欠な等価回路モデルの開発

研究課題名(英文) Development of equivalent circuit model required for low-noise designing of safe and secure electrical/electronic equipment

研究代表者

豊田 啓孝 (Toyota, Yoshitaka)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：20311798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：実際の設計現場でしばしば問題となる事例を対象に、これまでに提案した理論(モード等価回路)の有効性を確かめた。差動線路では、非対称テーパ付密結合屈曲構造の設計手順の確立やガラスクロスなどのメッシュ構造における差動スキュー低減設計法の提案、さらに、周期構造導入によるクロストーク抑制とそのメカニズム解明を行った。コネクタ周辺では、基板パターン形状の改善によるモード変換抑制やコネクタの平衡度算出方法の提案を行った。さらに、伝導妨害波電圧の定量評価のためDC/DCコンバータ回路を対象にノイズ源等価回路モデルの構築と評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小型化、高密度実装などによりしばしば生じるモード変換は、線路設計上で重要な信号完全性(SI)、電磁環境両立性(EMC)への影響が甚大であるが、従来の電気回路・伝送線路の両理論では扱うことができない。「平衡度整合」の概念を導入した本研究の成果は、従来理論と電磁気学の間を埋める新たな理論体系の構築に役立つ。さらに、実際の設計において問題となるモード変換やクロストークなどを対象に、現場エンジニアに理解しやすいよう具体的事例を用いて本研究成果の実用上の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：This project mainly confirmed the validity of a modal equivalent-circuit model I had proposed. In terms of the differential transmission line, the design procedure of a tightly coupled asymmetrically tapered bend was established, a methodology for reducing the differential skew on a meshed structure such as a board's glass cloth was proposed, and a crosstalk mitigation by introducing a periodic structure and its mechanism clarification were carried out. Regarding the connector and its surroundings, mode conversion at the connector was suppressed by improving the board pattern and an estimation method of the connector's imbalance factor was proposed. In addition, a noise-source equivalent-circuit model of DC/DC convertor was developed and validated for predicting the voltage of the conducted disturbance quantitatively.

研究分野：環境電磁工学

キーワード：等価回路モデル 低ノイズ設計 平衡度整合 伝送線路 ノイズ源モデル モード変換

## 様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電気・電子機器の高速化,省電力化,小型化,高密度実装が進んだ現在では,信号完全性(Signal Integrity: SI),電磁環境両立性(Electromagnetic Compatibility: EMC)を考慮した設計の重要性が以前より格段に増している。3次元電磁界シミュレーションによる数値的アプローチは,試作前に現象を可視化できるため有効であり,設計現場への導入が進んでいる。しかし,結果に問題が見つかったとしてもその原因を探ったり,最適設計を行ったりするには,条件を変えた繰り返し計算が必要である。膨大な計算時間を要するだけならまだしも,状況によっては原因にたどり着かない可能性もゼロではない。

この点では,精度が劣るにせよ,交流理論や伝送線路理論に基づく解析モデル(等価回路モデル)によるアプローチの方が因果関係の解明には有効であり,因果関係がはっきりすることで効果的な設計が行える。現在の設計において「インピーダンス整合」の概念は大きな役割を果たしているが,交流理論や伝送線路理論は理想的な2導体系の理論として確立しているため,SIやEMCに関連してしばしば問題となるコモンモードノイズを取り扱うことはできない。今日の高密度実装された電気・電子機器の回路基板やケーブルは近接する他の導体の影響を大いに受けているため,3導体以上の多線条線路を取り扱う等価回路モデルの構築と現実の設計問題への適用手法の確立が必要であり,これを可能とする「平衡度整合」の概念の普及が不可欠である。

### 2. 研究の目的

情報通信の発展と電気エネルギーの有効活用には半導体素子のスイッチングが不可欠であるが,一方で意図しない電磁ノイズ問題をしばしば引き起こす。安全・安心な電気・電子機器の実現には現場技術者による不断のノイズ対策が欠かせないものの,アドホックな事後対策が早晩行き詰まるのは明白である。本研究の目的は,SIやEMCを考慮した低ノイズ設計に有用であり,かつ,現場エンジニアの教育的側面をも有する等価回路モデルの提案,ならびに,そのモデルの構築・現実問題への適用手法の確立である。キーワードは「平衡度整合」であり,電磁気学と電気回路・伝送線路両理論の間を埋める新たな理論体系の構築につながる。

### 3. 研究の方法

研究は,5つの個別課題を対象としてそれぞれに適用するモデルを構築し,低ノイズ設計の観点により電磁界シミュレーションや測定の結果を使用してその妥当性,有効性を評価した。5つの個別課題は以下のとおりである。

- (1) 回路基板上における差動線路での平衡度不整合となる屈曲構造
- (2) コネクタ周辺の平衡度不整合構造
- (3) ガラスクロスなどのメッシュ構造のような均一性が担保されない回路基板上の差動配線
- (4) 差動線路で生じるクロストーク(モード変換)問題
- (5) DC/DCコンバータ回路におけるノイズ源等価回路モデルの構築

### 4. 研究成果

それぞれの課題に対する研究成果を以下にまとめる。これらの成果は,従来の電気回路・伝送線路の両理論と電磁気学の間を埋める新たな理論体系の構築に寄与する。SIやEMCを考慮した設計が不可欠となっている昨今,現場エンジニアがこの新たな理論を実際の設計に容易に適用できるよう,SIやEMCに関連して問題となりやすい具体的事例を用いて本研究の有効性を示した。

(1) 回路基板上における差動線路での平衡度不整合となる屈曲構造に対して,平衡度不整合を明確化できるモード等価回路モデルを作成し,屈曲構造モデルのインダクタンス,キャパシタンスの各種パラメータ値を算出した。このとき電磁界シミュレーションの計算モデルを工夫することでこれらのパラメータ値を精度よく抽出することに成功した。その値を用いて解析することで屈曲部における低モード変換実現には差動線路の各線路の自己インダクタンスと自己キャパシタンスの値を等しくすることが重要であり,我々が提案している非対称テーパ付密結合屈曲構造が最も低モード変換を実現していることを明らかにした。

さらに,この非対称テーパ付密結合屈曲構造について実利用に適した設計手順を確立した。この手順では,製造上の最小の線路幅や線路間隔に基づいて密結合屈曲部分の構造を最初に決定することにした。これにより,残るすべての構造パラメータを一意に決定することができる。図1は,この手順に基づいて屈曲構造を設計した試作基板におけるモード変換量の実測結果(実線)とシミュレーション結果(破線)の比較である。非対称テーパ付密結合屈曲構造である $C_1$ と $C_2$ は,通常屈曲のAに比べモード変換を大きく抑制できている。その上,実測とシミュレーション結果

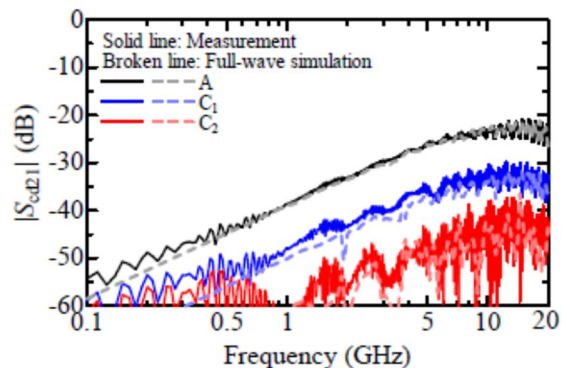


図1 屈曲部におけるモード変化量の比較

はよく一致しており、設計方法の有効性も確認することができた。

(2) コネクタ周辺の平衡度不整合構造におけるモード変換発生の問題では、市販の S/FTP イーサネットケーブルを対象に検討を行った。S/FTP イーサネットケーブルは対称構造のより対線のためノーマルモードと1次と2次のコモンモード間のモード変換は生じない。しかし、1次と2次のコモンモード間のモード変換は生じるため、これによるエミッション、イミュニティの問題が生じる。「平衡度整合」の概念を基に考察し、このモード変換にコネクタ直下のパターン形状が支配的であることを予測し、これを実験的に確認した。さらに、このパターン形状を「平衡度整合」に基づき改良することでこのモード変換を 10 dB 抑制できることを実験的に確かめた。さらに、「平衡度整合」の概念を基に導入したモード等価回路モデルを使ってこのモード変換抑制を評価したところ、誤差数 dB の精度で実測結果を再現することに成功した。図 2 はその結果を示しており、図 3 に示す Case 1 はメーカ推奨フットプリントの場合、Case 2 はメスコネクタ直下のパターンを改善した場合、さらに Case 3 はコネクタ周囲のシールドを改善した場合である。このように、コネクタ周辺の構造を改良するだけでモード変換を大きく抑制できることを明らかにした。

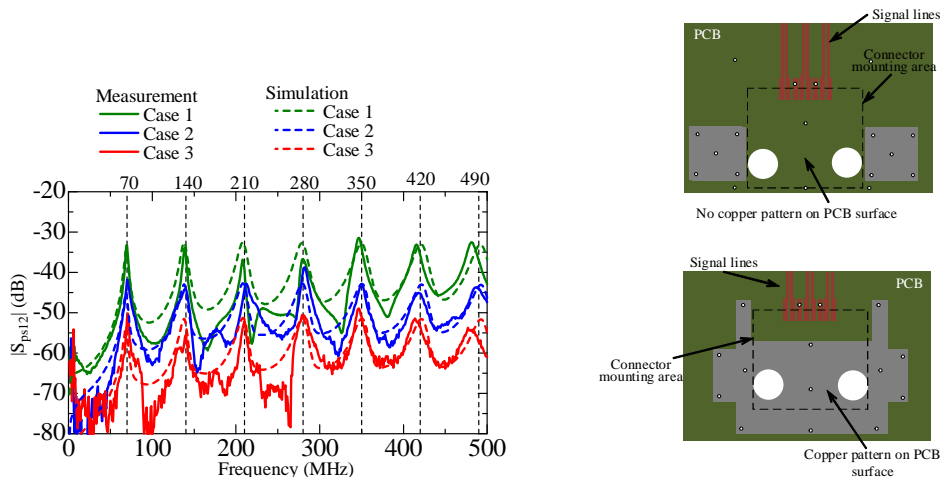


図 2 コネクタで生じるモード変換量の比較 図 3 Case 1(上)と Case 2(下)のパターン

さらに、平衡度の指標となる電流配分率について、現実のコネクタの電流配分率を得る方法を検討した。まず S パラメータを使って電流配分率を算出できる方法を考案した。まず、コネクタ構造データを手に入れる場合は、これに基づき電磁界シミュレーションを行い得られる S パラメータから電流配分率を求められることを、コプレーナ形状の接続部を用いて確認した。次に、構造データを手に入れない場合を想定し、測定により電流配分率が求められる方法を検討した。ベクトルネットワークアナライザを用いた S パラメータ測定から電流配分率を求めたが、ケーブルの影響の排除が難しく、精度の問題が生じた。そこで、時間領域反射率測定法を用いた基礎検討を行い、この手法による有効性を確認した。

(3) プリント回路基板のガラスクロスやフレキシブルプリント回路基板(Flexible Printed Circuit: FPC)のメッシュグラウンドでは、差動線路とメッシュ構造のなす角度が差動スキューの大きさに影響を与える。差動スキューが発生すると SI や EMC に関する問題を引き起こすため、高速信号伝送において差動スキュー低減は不可欠である。そこで、差動スキュー低減という観点から、差動線路の伝搬に伴う位相変化に着目して、ガラスクロスと差動線路のなす角度を回転させた場合の差動スキューを容易に算出できる簡易モデルを考案した。簡易モデル作成以前は精緻なモデルを使って電磁界シミュレーションを実行しなければならず、角度を回転させた場合の特性変化を知るには膨大な時間が必要であった。考案した簡易モデルを使用することで特性変化を極めて短時間で知ることができ、さらに、電磁界シミュレーションの結果と傾向は一致した。この簡易モデルの使用で大まかな傾向をつかみ、電磁界シミュレーションで要所を確認することで検討が飛躍的に進み、ガラスクロスと差動線路のなす角度を 40° 程度に設定すると差動スキューを劇的に低減できること、加えて、角度を変えることで差動スキューがメッシュに起因して周期的に変動するメカニズムまで明らかにすることができた。

続いて、ガラスクロスで実証した差動スキューの低減手法は、FPC のメッシュグラウンドにも適用できると考え、本手法の転用を試みた。実際に FPC を試作して評価を行い、ガラスクロス同様、差動スキュー低減が可能であることを明らかにした。さらに、差動線路とメッシュグラウンドのなす角を 30° に保持するため、図 4 に示すように線路の屈曲角度を 90° にして差動配線を引き回すと、図 5 のようにどの配線パターンでも同じ伝送特性が得られた。これは、メッシュグラウンドを気にせず FPC 上の任意位置に差動配線を配置可能であることを示しており、差動配線を FPC 上で引き回す場合、その配置はメッシュグラウンドのパターンに合わせるため大きな制約となるが、このように角度を 30° にすることでこの制約を取り除くことができた。



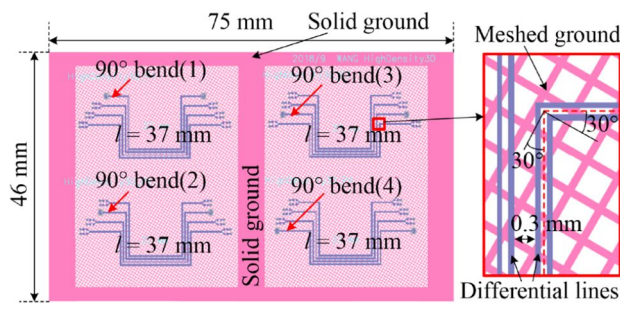


図4 試作したFPC

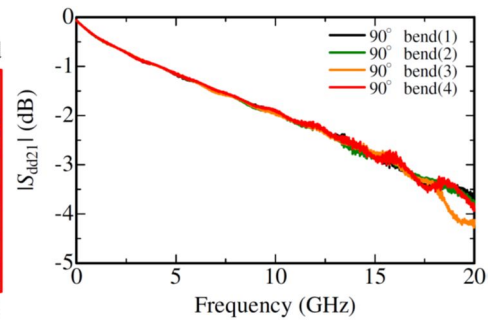


図5 4配線の伝送特性の比較

(4) クロストーク抑制のため周期構造を導入した差動線路を提案した。その伝送特性を3次元電磁界シミュレーションにより評価したところ、図6に示すように、通常構造に比べ非常に大きな遠端クロストークの抑制効果が得られ、加えて周期構造の導入による根本的な伝送特性の不具合は見られなかった。これより周期構造差動線路が高密度実装に有効であることが判明した。

さらに、周期構造差動線路を実基板上に試作・評価することでシミュレーション結果の妥当性を確認した。このクロストーク抑制効果について、ディファレンシャルモードのみに着目して2つの先行研究の成果を組み合わせることで、近端クロストークはディファレンシャルモードの偶奇モードのインピーダンス差の影響が支配的であり、一方、遠端クロストークは偶奇モードの位相定数差の影響が支配的であることを明らかにした。結果として、周期構造差動線路で遠端クロストークを極めて小さくすることができたのは、ディファレンシャルモードの偶奇モードの位相定数の値をほぼ同じにできたためと分かった。

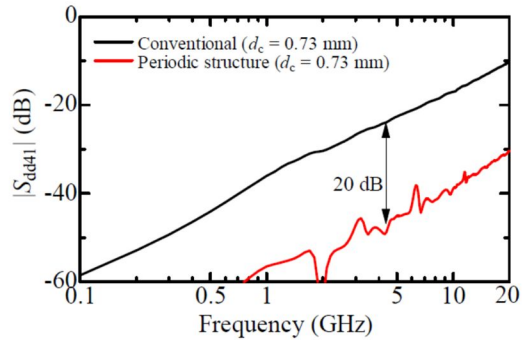


図6 通常の差動線路と周期構造差動線路の遠端クロストークの比較

(5) 伝導妨害波電圧の定量評価にはノイズ源等価回路モデルの構築が不可欠である。DC/DCコンバータ回路は非線形素子であるトランジスタを含むが、扱いの容易な線形性を仮定したブラックボックスモデルとしてモデル化しパラメータ同定を行ったところ、伝導妨害波電圧のノイズシミュレーションの可能性のあることを見出した。さらに、モデルパラメータ抽出時に直流動作に影響を及ぼさないよう負荷抵抗を固定して外部フィルタとしてのコンデンサの値を変えること、また、モデル構造では等価電流源の数を1つから図7のように2つにすることで、の2点を改善することで、コンデンサ実装時の伝導妨害波電圧を予測したところ、従来と比較して20 dB以上精度が向上した。さらに、モデルパラメータ抽出時とは異なる負荷抵抗を接続した場合も、異なる負荷抵抗で同定したノイズ源等価回路モデルの線形補間により伝導妨害波電圧の予測を試み、予測可能であることを確認した。

スイッチングのターンオン・ターンオフのタイミングがジッタで揺らぐ場合、伝導妨害波スペクトルが高周波で20 dB程度低く検出され、予測精度に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。この揺らぎを取り除き、伝導妨害波に含まれるリップルノイズやスイッチングのターンオン・ターンオフ時に生じるスパイクノイズという各ノイズに着目することで、それぞれのノイズ

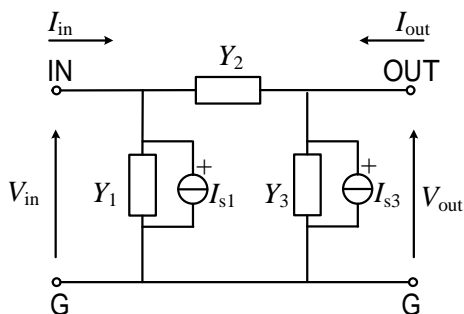


図7 2等価電流源ノイズ源等価回路モデル

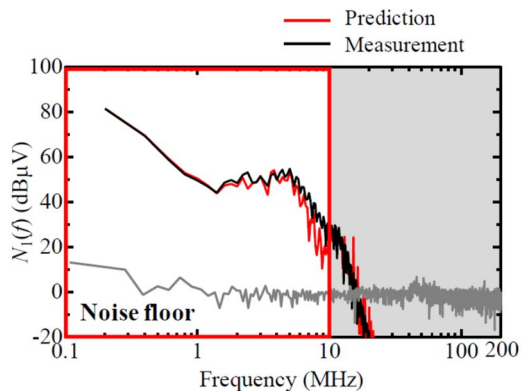


図8 リップルノイズのスペクトル予測

のスペクトルを誤差 3 dB 以下で予測することができた。図 8 はノイズ源等価回路モデルを用いて予測したリップルノイズのスペクトルと実測スペクトルの比較であり、両者がよく一致していることが分かる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chenyu Wang, Kengo Iokibe, and Yoshitaka Toyota	4. 巻 17
2. 論文標題 Mitigating Differential Skew by Rotating Meshed Ground for High-Density Layout in Flexible Printed Circuits	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/elex.17.20200101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Md. Ashraful Islam, Kengo Iokibe, and Yoshitaka Toyota	4. 巻 140
2. 論文標題 Suppression of Mode Conversion at Ethernet Connector by Using Modal-Equivalent Circuit Model Based on Imbalance Matching	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 586-592
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 王晨宇, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝	4. 巻 J102-B
2. 論文標題 差動配線とメッシュグラウンドのなす角に着目した差動スキュー低減	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 B	6. 最初と最後の頁 228-236
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 竹田大晃, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝	4. 巻 J101-B
2. 論文標題 差動伝送線路への周期構造導入によるクロストーク抑制	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 212-219
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Tomoya Takeuchi, Kengo Iokibe and Yoshitaka Toyota
2. 発表標題 Suppression of Mode Conversion Due to Asymmetric Geometry of Dense Parallel Traces in Differential-Transmission Lines
3. 学会等名 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shuqi Zhang, Taishi Uematsu, Kengo Iokibe and Yoshitaka Toyota
2. 発表標題 Two-port Noise Source Equivalent Circuit Model for DC/DC Buck Converter with Consideration of Load Effect
3. 学会等名 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊田啓孝, 金尾奨, 佐田野勝水, 五百旗頭健吾
2. 発表標題 コモンモード放射シミュレーション用電流配分率算出のためのコネクタの簡易モデル構築
3. 学会等名 第34回エレクトロニクス実装学会春季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上松大志, 張書奇, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 DC/DCコンバータのターンオン・ターンオフに着目したノイズ源等価回路モデルのパラメータ同定と伝導妨害波の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会環境電磁工学研究会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Taishi Uematsu, Yuhei Osaki, Yusuke Yano, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyot
2 . 発表標題 Improvement of Prediction Accuracy of Noise-source Equivalent-circuit Model Based on Parameter Extraction by Port Voltage/Current Measurement
3 . 学会等名 2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Md. Ashraful Islam, Ryota Irishika, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyota
2 . 発表標題 Suppression of Mode Conversion by Improving Shielding Around Ethernet Connector with Imbalance Matching
3 . 学会等名 2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Chenyu Wang, Hiroaki Takeda, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyota
2 . 発表標題 Reduction Mechanism of Differential-Mode Crosstalk between Adjacent Differential Pairs with Periodic Structure
3 . 学会等名 2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Md. Ashraful Islam, Ryota Irishika, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyota
2 . 発表標題 Suppression of Mode Conversion by Improved Shielding Effect of Ethernet Cable Connector Based on Imbalance Factor Matching
3 . 学会等名 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年



1. 発表者名 Chenyu Wang, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyota
2. 発表標題 Randomly Shifted Mesh Position of Meshed Ground for High-Density Mounting in FPCs
3. 学会等名 2019 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上松大志, 大崎悠平, 矢野佑典, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 ノイズ源等価回路モデルを用いたDC/DC コンバータにおける伝導妨害波電圧の予測精度向上に向けた検討
3. 学会等名 電子情報通信学会環境電磁工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chenyu Wang, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyota
2. 発表標題 Optimum rotation angle for mitigating differential skew induced by glass cloth in PCB
3. 学会等名 Electronics Packaging and iMAPS All Asia Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Takeda, Kengo Iokibe, Yoshitaka Toyota
2. 発表標題 Design of Differential Transmission Lines with Periodic Structure for Crosstalk Suppression by Preference Set-based Design Method
3. 学会等名 EMC Joint Workshop 2018, Daejeon (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大崎悠平, 矢野佑典, 上松大志, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 DC/DCコンバータの2ポートノイズ源等価回路モデルにおけるパラメータ抽出の改善による予測精度向上
3. 学会等名 電子情報通信学会環境電磁工学研究会, EMCJ2018-101
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王晨宇, 竹田大晃, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 周期構造を有する隣接差動線路間のディファレンシャルモードクロストークの低減メカニズム
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Irishika, Yoshitaka Toyota, Kengo Iokibe
2. 発表標題 Evaluation of Secondary Common-mode current Using Modal Equivalent Circuit in Four-conductor Transmission-line System
3. 学会等名 EMC Joint Workshop 2017, EMCJ2017-14 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹田大晃, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 差動線路への周期構造導入によるクロストーク抑制効果の実測による評価
3. 学会等名 エレクトロニクス実装学会 第3回超高速・高周波エレクトロニクス実装研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 王晨宇, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 プリント回路基板のガラスクロスに起因する差動スキューを低減する最適配線角度
3. 学会等名 エレクトロニクス実装学会 第3回超高速・高周波エレクトロニクス実装研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 王晨宇, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 メッシュグラウンドを有するプリント配線基板における回転角度に対する差動スキューの評価
3. 学会等名 電子情報通信学会環境電磁工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹田大晃, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 周期構造を有する差動伝送線路におけるクロストーク抑制
3. 学会等名 電子情報通信学会環電磁工学研究会EMCJ2017-5
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大崎悠平, 矢野佑典, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝
2. 発表標題 DC-DCコンバータのノイズ源等価回路の提案とパラメータ同定
3. 学会等名 電子情報通信学会環電磁工学研究会EMCJ2017-6
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroaki Takeda, Kengo Iokibe and Yoshitaka Toyota
2. 発表標題 Crosstalk Reduction by Introducing Periodic Structure into Dense Differential Pairs
3. 学会等名 2017 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC 2017) PS2-06 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuhei Osaki, Yusuke Yano, Kengo Iokibe and Yoshitaka Toyota
2. 発表標題 Parameter Identification of Noise-source Linear Equivalent Circuit of DC-DC Converter and Its Evaluation
3. 学会等名 2017 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC 2017) TH-AM-5-04 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関