

H20 年度秋田大学研究者海外派遣事業により 実施した研究・教育活動の成果報告について

平成 23 年 1 月 17 日

所属・職名：工学資源学研究科電気電子工学専攻・助教
氏 名：萱野良樹

派遣先機関名：Missouri University of Science and Technology,
Electromagnetic Compatibility Laboratory
ミズーリ科学技術大学 環境電磁工学研究所
(国名：アメリカ合衆国)

派遣期間：平成 21 年 1 月 13 日～平成 21 年 8 月 31 日

研究課題・目的：電子機器からの 1GHz 超電磁妨害の発生メカニズムの解明による予測法
及びその抑制法の開発

□研究成果（列記願います）

・論文

- [1] Y. Kayano and H. Inoue, “Prediction of EM Radiation from a PCB Driven by a Connected Feed Cable”, *IEICE Trans. Commun.*, vol.E92-B, no.6, pp.1920-1928, Jun. 2009.
- [2] Y. Kayano and H. Inoue, “Identifying EM Radiation from a Printed Circuit Board Driven by Differential-Signaling”, *Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging*, vol.3, no.1, pp.24-30, Dec. 2010.

・学会発表（国際会議）

- [1] Y. Kayano and H. Inoue, “EM Radiation from Interconnected Surface-Microstrip Line Structures by a Coaxial Cable”, in *Proc. IEEE International Symposium on EMC*, WE-AM-2-4, pp.51-56, Austin, USA, Aug. 2009.
- [2] F. Zhou, S. Wu, D. Pommerenke, Y. Kayano, H. Inoue, K. Tan and J. Fan, “Measuring IC Switching Current Waveforms Using a GMI Probe for Power Integrity Studies”, in *Proc. 2010 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp.321-324, Beijing, China, May 2010.
- [3] Y. Kayano, R. Hashiya and H. Inoue, “The Correlation between Imbalance Current and EM Radiation from a Printed Circuit Board Driven by Differential-Signaling”, in *Proc. International Conference on Electronics Packaging*, pp.608-613, Hokkaido, Japan, May 2010.

- [4] F. Zhou, S. Wu, D. Pommerenke, Y. Kayano, H. Inoue, K. Tan and J. Fan, “Improvements in GMI Probe Design for Time-Domain Transient Current Measurements”, in *Proc. IEEE International Symposium on EMC*, pp.340-343, Fort Lauderdale, FL, USA, Jul. 2010.
- [5] Y. Kayano and H. Inoue, “Predicting CM Radiation from Strip Line Structure by Equivalent Circuit Model”, in *Proc. IEEE International Symposium on EMC*, pp.748-758, Fort Lauderdale, FL, USA, Jul. 2010.
- [6] Y. Kayano and H. Inoue, “A Study on Characteristics of EM Radiation from Strip Line Structure”, in *Proc. Asia-Pacific Radio Science Conference*, E2-1, Toyama, Japan, Sep. 2010.

・学会発表(電子情報通信学会研究会など)

- [1] Y. Kayano, G. Feng, J. Fan and H. Inoue “Physics-Based Equivalent Circuit Model for Predicting EM Radiation from Stripline Structure with One Gapped Reference Plane”, 2009年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-4-57, p.340, Sep. 2009.
- [2] Y. Kayano, G. Feng, J. Fan and H. Inoue “Physics-Based Equivalent Circuit Model for Predicting EM Radiation from Stripline Structure with One Gapped Reference Plane (Part 2)”, 信学技報, vol.109, no.241, EMCJ2009-74, pp.177-182, Oct. 2009.
- [3] 高山司, 萱野良樹, 井上浩, “スロットを周期的に形成した電源面を持つストリップライン構造からの不要電磁放射”, 電子情報通信学会技術研究報告, 機構デバイス研究会, EMD2009-137, Mar. 2010.
- [4] Y. Kayano, T. Takayama and Hiroshi Inoue, “A Study on EM Radiation from Stripline Structure with Gapped Plane”, 2010年電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-4-2, p.352, Mar. 2010
- [5] Y. Kayano and H. Inoue, “A Study on EM Radiation from Stripline Structure with a Thin Wire”, 2010年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, B-4-48, p.351, Sep. 2010.
- [6] Y. Kayano and H. Inoue, “An Equivalent Circuit Model for Predicting EM Radiation from Stripline Structure with a Thin Wire”, 電子情報通信学会技術研究報告, 環境電磁工学研究会/マイクロ波工学研究会, EMCJ201056/MW2010-91, Oct. 2010.

・その他

特に無し

□教育活動等（列記願います）

滞在した環境電磁工学研究所では、現地の学生が博士課程に進学する割合が小さく、中国、インドからの留学生が比較的多かった。研究室ではほぼ同年代の博士課程の学生達と新しい技術の取得や詳細な計算及び実験結果の討論を重ねることができた。また、訪問先の多大な好意により、American Pronunciation Program (Spring 2009), Weekly meeting for oral English practice の2つの英語講義への参加を認めて頂き、英語の勉強はもちろんのこと、一部ではあるがアメリカの大学のシステムや講義の様子などを理解する上で非常に有意義な経験をすることができた。

□海外派遣事業中の教育・研究活動が、帰国後の研究等の活動にどのように反映されたか概括ください。

本研究課題は1GHzを超える周波数を応用するようになった電子デバイスを実装した電子機器における電磁妨害(electromagnetic interference: EMI)や信号完全性(Signal Integrity: SI)の電磁環境に関する問題を解決し、ユビキタスネットワーク社会でのクリーンで高品質な電磁環境を達成するために、1)従来の試行錯誤的なアプローチやフルウェーブ解析に代わる EMI の発生メカニズムの解明を通じた EMI 及び SI 予測のための物理ベース等価回路モデルを開発すること、2)また等価回路モデルにより得られた知見から SI と両立した EMI 抑制法を確立することを目的としている。

近年、電子機器の小型・軽量化による回路の高密度実装化や、伝送信号の高周波化が進んでいる。これに伴い電子機器内の伝送信号の品質確保(SIの確保)、不要電磁波放射や機器内で生じるカップリング等の電磁妨害(EMI)が問題となっている。しかしながら本問題に対する設計段階における根本的な解決策はあまり明確ではなく、事前に過剰なノイズ対策を施すか、プロトタイプ開発後に対処療法的な対策を行うしかないのが現状である。その結果、開発現場では設計の長期化、コストの増加等の問題が顕在化しており、電子機器の EMI/SI 問題は科学的、技術的、経済的に重要な課題である。電磁界シミュレーションの発展により試作前評価が一部可能になりつつあるが、機器構造と物理(電磁)現象の対応関係が明確ではなく、結局は従来の試行錯誤的なアプローチを試作品ではなく計算機上で行うようになってきただけである。根本的な解決のためには放射源の観点から発生要因を整理し、EMI/SI 問題のメカニズムを解明し、設計の初期段階で効果的な対策を講じることが不可欠である。そのため、ノイズの放射機構を解析し、EMI/SI を電子機器の設計段階から予測可能にするための物理ベース等価回路モデルの開発及び得られた知見に基づいた回路設計技術を確立することは非常に有益である。

このような背景を基に、本研究では電子機器からの1GHz超 EMI の発生メカニズムを解明し、高密度実装を実現可能とする EMI/SI の予測のための物理ベース等価回路モデルの開発と EMI 抑制法の確立を目指した。滞在先の Missouri University of Science and Technology の EMC 研究所は米国の中でも著名な EMC に関する研究グループで

あるとともに、全米有数のコンソーシアムを組織して包括的な EMC 基板解析を目指しており、目的達成の環境として最適であった。

複雑なメカニズム及び有効な抑制法を検討するには適切な検討モデルが必要不可欠であるので、電子機器を構成する基本要素である信号線路と負荷、アナログ/デジタル回路分離用のスロットをグランド面に有するストリップライン構造を対象として検討を行った。本構造では、電磁界モードとしてストリップラインモード、パラレルプレーンモード、スロットラインモードの3つが想定されるが、モードの直交性を確認した結果、3つのモードは直交せず互いに励振し合うため、複雑なカップリング現象を考慮した新しい等価回路モデルが必要であることが判明した。そこで、構造全体を直接解析するのではなく、各モードが直交する領域と直交しない領域とに分割し、各領域の等価回路モデルを考えた上で構造全体の振る舞いは各領域をセグメンテーション法で互いに結合することで解析する手法を考案した。3つのモードが結合するストリップ線路とスロットの交差領域は、マクスウェル方程式に基づく **Kron's Network** により等価回路パラメータの抽出を行った。ベンチマークとして、有限要素法、有限差分時間領域法によるフルウェーブ解析との比較を行った結果、第1共振周波数以下では1dB以内で一致し、より高周波でもパラレルプレーン、スロットラインモードに起因する共振特性を精度良く解析できることが確認でき、提案する手法及び等価回路モデルの妥当性と有効性を実証することができた。また、等価回路モデルは各モードを効率良く解析できるため、有限差分時間領域法ではスーパーコンピュータを利用しても35時間必要な解析を、等価回路モデルは市販のラップトップコンピュータでも10分程度で解析できるようになった。等価回路モデルの利用により、単なる計算の高速化だけではなく、共振の物理現象の理由、支配的なカップリングパスも予測可能であり、抑制法の開発の基礎の一部を築くことができた。

以上のような海外派遣事業中の研究活動を基礎にして、現在、電子機器の EMI/SI 問題をその発生メカニズムを明らかにしつつ予測可能な物理ベース等価回路モデルを開発し、そして得られた知見を基に対策を考慮した新たな基板構造や素子配置を論じることを目的として継続的に研究に取り組んでおり、予測法の一部を可能としている。本コンセプトに基づいた研究成果の適用により、複雑なモデルや試行錯誤に依らずに低電磁妨害で高品質な電子機器の設計が期待でき、高品質な電子情報化社会の確立に貢献するものと考えられる。

また、平成22年2月には教育研究高度化のための支援体制整備事業(ミズーリ科学技術大学環境電磁工学研究所との共同研究体制の整備)の支援を受けて、これまでの協定校との協力関係を発展させて、2大学間の協定に電磁界計測用センサを研究開発している秋田県産業技術総合研究センターを加えた共同研究を実施するための体制の整備として、今後の共同研究・開発を円滑に行うための通信環境の整備、また共同研究に関する測定系の構築を行った。教育の観点では、今後の学生の交換留学促進のための学生間交流について、

Provost, International Affairs のスタッフと議論した.

現在, アフリカ・ボツワナ支援を含む Mining 分野での交流を考え, 全学的組織である国際資源学教育研究センターを含めた学生・研究交流を可能とするために, これまでの工学資源学部との学部間(部局間)協定から大学間協定へ発展させることを目指し, 準備を進めている.

最後に, 本事業に関して国際交流センター並びに電気電子工学専攻教職員の皆様, 研究室の井上浩理事・副学長から多くのご支援を頂きました. ここに御礼を申し上げます.