

## 我が国で創出された環境電磁工学における EMC 研究の技術報告に みる独自性と将来方向

藤原 修<sup>†,††a)</sup>

Uniqueness and Future Direction of EMC Researches Seen from Their Technical Reports in Environmental Electromagnetic Engineering Created in Japan

Osamu FUJIWARA<sup>†,††a)</sup>

あらまし 2017 年は環境電磁工学研究専門委員会 (EMCJ) 発足 40 周年にあたることに鑑み、「環境電磁工学」に関する 2006~2016 年の過去 10 年間にわたる EMCJ 技術報告の調査から、我が国における EMC 研究の技術動向と特徴を明らかにし、将来の方向性を示した。EMC の概念を拡張、電磁界の生体影響を視野に入れた「環境電磁工学」という新たな学問分野が我が国で創出されたことは、欧米・アジア圏でも例はない。今後の電波エネルギーの利用拡大と多様化に伴い、技術革新をもたらすワイヤレス電力伝送、医療機器を含むウェアラブル端末や第 5 世代移動通信に対して、情報伝送の「信頼性・セキュリティ」と人体の「安全性」を確保・担保するには、「生体・機器システムの EMC」を標榜してきた、我が国の特徴的な日本型 EMC が必須の要求事項となろう。

キーワード EMC, 環境電磁工学, EMCJ, 技術報告, 独自性と将来方向

### 1. ま え が き

「環境電磁工学」とは、電磁環境の中で電磁両立性 (EMC: Electromagnetic Compatibility) に関する問題を広く研究する学問領域をいい、故佐藤利三郎教授 (東北大学・東北学院大学名誉教授) によって創出された [1]~[5]。この学会組織として、1977 年 4 月に電子通信学会 (現在の電子情報通信学会: IEICE) と電気学会の電気物理技術委員会との両方に「環境電磁工学研究専門委員会 (EMCJ と略称)」が設置された。したがって、我が国の EMC に関する研究は、EMCJ が創設されたことに始まったとしてよい。おりしも、2017 年は EMCJ 40 周年にあたることから、2018 年 3 月開催の IEICE 総合大会では、「環境電磁工学の基盤技術と未来へのメッセージ」と題した EMCJ 40 周年企画セッション (一般公開) が盛大に催された [6]。

本論文では、EMCJ 創設者を中心として先達が生みだされた、我が国の世界に類例のない「環境電磁工学」の独特な考え方を示し、これまでの EMCJ 主催の「環境電磁工学研究会」で発表された技術報告 (EMCJ 技術報告と省略) の調査を通して判明した研究動向から、EMC 研究の独自性と将来の方向性を示す。なお、EMCJ の創設経緯と組織形態、国際会議を含む研究活動や今後のあり方などの詳細は、文献 [7] を参照されたい。

### 2. EMC と環境電磁工学

「EMC」と「環境電磁工学」は、本来は異なった概念を表す用語ではあるが、我が国では同義語として扱われる。そもそも EMC とは、無線・放送の電磁妨害に端を発して米国で生まれた専門用語 [7] であり、その定義は「デバイスや機器システムが正常に機能し、不要な電磁エネルギーを放出せず、他のデバイス等に電磁障害を起こさない能力」というのに対し、「環境電磁工学」とは、EMCJ 設置趣意書<sup>(注1)</sup>の中において、

<sup>†</sup> 名古屋工業大学, 名古屋市

Nagoya Institute of Technology, Gokiso, Showa-ku, Nagoya-shi, 466-8555 Japan

<sup>††</sup> 電気通信大学産学官連携センター, 調布市

The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, 182-8585 Japan

a) E-mail: fujiwara@nitech.ac.jp

DOI:10.14923/transcomj.2018PEI0001

(注1): 環境電磁工学研究専門委員会設立趣意書 (昭和 52 年 12 月 20 日 設立当初の原文), <http://www.ieice.org/~emcj/jpn/about-emcj/purpose.EMCJ.html> (閲覧: 2018 年 9 月 19 日)

「電磁エネルギー利用の発達にともない、変化してきた地球および天体の電磁氣的周囲環境の把握とその予測、さらに調和のとれた環境とするための制御方法、電気装置のあり方を追求し電磁環境の調和と電磁エネルギーの有効利用に資する工学、理学、医学、経済学、社会学等の多方面にわたる学際的研究の基礎学問分野」と大風呂敷を広げて定義している。したがって、EMCJ が扱う分野も「(1) 環境電磁工学のための電磁理論 (2) 環境電磁工学のための回路理論 (3) 環境電磁工学の論理モデル (4) 電磁波発生源 (人工雑音、都市雑音等) の特性とその測定 (5) 環境電磁工学に関する技術 (遮蔽技術、雑音フィルタ、ボンディング、不要反射防止技術等) (6) 電磁環境の予測 (7) 不要電磁界排除特性 (8) 周波数の有効利用 (9) 社会システム (電力、輸送、放送、通信情報、医療、教育等) の環境電磁工学 (10) 電磁環境の生体及生態への影響」と多岐にわたっている。要するに、「環境電磁工学」とは「電磁環境の中で電磁界の生体影響を含めた EMC のあらゆる問題を広く研究する学際的な学問領域」[7] と解釈できるが、この理念は、1977 年に EMC の概念を拡張させて生まれたものであり、欧米・アジア圏の EMC 界でも例はなく、我が国独自のものと云ってよい。

### 3. EMCJ 技術報告

#### 3.1 技術報告の年次推移と EMC 研究

文献 [8] には、1996 年から 2006 年までの 10 年間の EMCJ 技術報告から、我が国の EMC 技術の進歩発展と将来展望が述べられているが、ここでは、文献 [8] と同じ分類トピックスに従って、2006 年 4 月から 2017 年 3 月までの過去 10 年間に発表された技術報告を調査し、我が国の EMC 研究の動向と特徴を指摘したい。

図 1 は 1977 年 5 月から 2017 年 3 月までの EMCJ 技術報告の毎年の発表件数と累積件数の年次推移を示す。図によれば、EMCJ 発足当時の発表は年間 65 件であったが、2017 年 3 月 (2016 年度) の時点での発表の累積総数は 4393 件に達している。毎年の発表件数は、1985 年から年間 100 件程度に推移しているが、これは EMCJ 研究会が 1 日開催で年間 10 回 (2 月と 8 月は休会) 実施を原則としていること、毎回の発表件数が限定されること、などによる [7]。表 1 は文献 [8] に基づく EMCJ 技術報告の分類トピックスを示す。図 2 は 2006 年 4 月から 2017 年 3 月までの年度ごとのトピックスに対する発表件数と累積総数の年次変化を示す。なお、年度ごとの件数は、2011 年にピークに達した

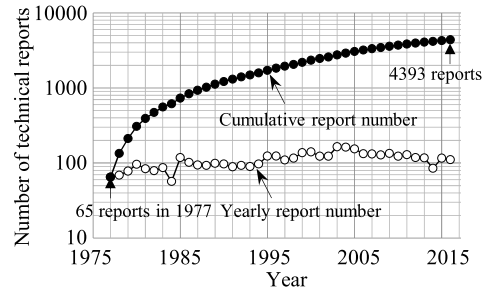


図 1 1977-2016 年に開催された環境電磁工学研究会の技術報告数の年次変化

Fig. 1 Yearly change in number of technical reports presented at EMCJ technical during 1977-2016.

後、減少に転じているが、これは、電磁エネルギー利用の拡大・多様化に伴って、パワーエレクトロニクス、無線電力伝送 (WPT: Wireless Power Transfer)、医療機器、車載電子機器に対する EMC 試験などの新たな EMC 問題が急増したことによる。図 2 下の円グラフは、2006 年度の累積技術報告 (133 件) のトピックスの内訳と 2016 年度の累積技術報告 (1326 件) のそれを示す。技術報告のトピックス順位は、2006 年度と 2016 年度では累積総数の違いから多少異なるものの、電磁界の生体影響、生体電磁気学を扱った「生体」が共通して最も多い。ついで、2006 年度では電磁界や数値シミュレーションの「解析」、電磁放射を含む「プリント回路基板 (PCB: Printed Circuit Board)」、耐性問題に関わる「測定」、電磁吸収・シールドのための「材料」、電気接点や雷・静電気放電 (ESD: Electrostatic Discharge) の「放電」という順位に対して、2016 年度では、「PCB」「放電」、「測定」、「解析」、「材料」という順番であるが、トピックス数の年次推移をみると、「生体」「PCB」の順位は変わらず、続いて「ESD」が 2012 年から「解析」よりも台頭していることが読み取れる。なお、「放電」は、EMC の概念が米国で確立される以前から電磁雑音源として既に認識され、今日なお EMC の解決すべき最重要課題の一つにあげられてはいるものの、EMCJ での技術報告は、年間を通して平均 3~4 件と少なく、40 余年の歳月を経ても同報告が途絶えることはないが、2010 年以降に機器の ESD 耐性問題が試験法の国際規格化とともにクローズアップされるに及んで漸増の傾向にある [9]。

上述したトピックスの具体的な内容は、紙数の関係で全てを記すことはできないが、ここでは、トップ 2 の「生体」と「PCB」に関し、筆者が注目した研究の

表 1 環境電磁工学研究会で発表された技術報告の分類テーマ  
Table 1 Categorized topics of technical reports presented at EMCJ technical meetings.

Printed circuit board (PCB)	Power and ground Transmission line	Material	Measurement Meta-material	Biological effect	SAR (Specific absorption rate) Nonthermal effect Medical applications
	Signal integrity Common mode Cross talk		Shield		Countermeasure
Cable	Radiation	Discharge	Electrostatic discharge Lightning Contact	Standard/regulation †	
	Immunity		Electromagnetic field		Analysis Radiation prediction
Equipment	Common mode/radiation Immunity	Measurement		Noise source model Radiowave environment Universe/ionosphere	† CISPR: International Special Committee on Radio Interference IEC: International Electrotechnical Commission ARIB: Association of Radio Industries and Businesses VCCI: Voluntary Control Council for Interference by Information Technology Equipment
	Balance/inbalance conversion				
Large-Scale Integration (LSI)	Radiation Immunity		Site Antenna Probe Noise source estimation Immunity		
	Driving source model Immunity				

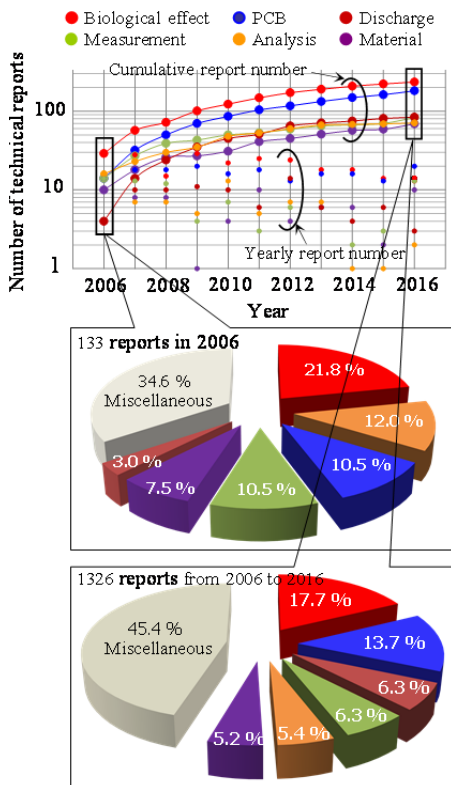


図 2 2006-2016 の 10 年間に現れた六つのテーマに対する技術報告数の年次変化

Fig. 2 Yearly change in number of technical reports according to six topics that appeared during 2006-2016.

内容と動向を概括する。なお、順位三位の「放電」については、1977 年発足から 2011 年 5 月までの年次ごとの発表件数は文献 [9]，研究の状況や動向については文献 [10], [11] をそれぞれ参照されたい。

### 3.2 生体 EMC の研究概要

「生体 EMC」に関する研究の最大の関心事は、無線周波電磁界に対する人体安全性評価のための解剖学的人体数値モデルの構築と国際非電離線放射防護委員会 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: ICNIRP) [12] や、我が国の電波防護指針 [13] に適合するかどうかのドシメトリ (Dosimetry)<sup>(注2)</sup> 評価に尽きる。これまでの十年間に子供 [14]，幼児 [15], [16]，妊婦 [17]~[20]，胎児 [21] の解剖学的数値モデルが開発され、全身平均 SAR の FDTD 計算が精力的になされている。更にマクスウェル方程式と熱伝導方程式を組み合わせた生体内温度の大規模連成数値計算技法 [22] が開発され、成人と子供の深部温度 [23], [24] や、ラット [25]~[28]，うさぎ [29]~[31] などの小動物の電磁界ばく露実験のための体内 SAR と温度上昇が計算された。その一方、平面波ばく露の人体全身平均 SAR の推定法 [32]~[34] や、反射箱 [35]~[37] を用いた全身平均 SAR の推定 [38], [39] が試みられ、ヒトボランティアに対する全身平均 SAR の測定とシミュレーション [40] から、限定された人体組織数

(注2)：ドシメトリとは、電磁界にばく露したヒトまたは細胞、動物における体内電界強度または誘導電流密度、または比吸収率 (Specific Absorption Rate: SAR) 分布を測定、または計算によって決定することを用いる。

の計算機数値モデルに対する FDTD 法を用いた計算結果の妥当性が示された [41]。また、ELF [42]~[44]、中間周波数帯 [45] での人体影響に関心がもたれ、電磁調理器 [46], [47] や交流式電気シェイバー [48] の近傍磁界に対する人体誘導電流が解析されたが、2010 年に ICNIRP 低周波領域のガイドライン [49] が改定されて以来、電磁界の間接影響としての接触電流 [50] が注目され、ヒトボランティアに対する測定結果が示された。更に最近では、中間周波数帯の WPT 技術が注目されるに及んで、WPT システムの近傍での人体ドシメトリ評価 [51]~[55] が試みられている。

### 3.3 PCB の EMC 研究概要

「PCB」に関する EMC 研究は、基板上の印刷回路パターンや基板から配線に流れるコモンモード電流で放射電磁波（放射ノイズ）が発生することは、よく知られており、したがって、この分野での最大の関心事は、コモンモード電流を予測し、これをいかに抑制するかに尽きる。これまでの 10 年間にコモンモード電流を精度よく計算するための種々の解析法 [56]~[61] や等価回路モデル [62], [63] が数多く構築された。更に、IC/LSI を搭載した PCB からの放射ノイズを解析するには、IC/LSI の電源系の高周波電流をシミュレートする必要があり、この観点から、CMOS トランジスタのスイッチングで発生する高周波電流を線形等価回路と内部電流源で表現した LECCS (Linear equivalent circuit and current sources) モデル [64]~[68] が提案され、有用性が実験で示された。放射ノイズ低減法については、バイパスコンデンサ [69]~[71]、コモンモードチョークコイル [72] の実装、PCB 上の配線のインダクタンスとキャパシタンスをバランスさせてコモンモード電流の低減を図る設計法 [73]、電源層とグラウンド層に形成した EBG (Electromagnetic band gap) 構造 [74] のノイズ抑制シート [75] などが提案され、有効性が実験で示されている。また、きょう体の電磁シールド効果を解明するために、PCB を放射雑音源として内蔵したきょう体モデル [76]~[78] で開口部からの漏洩電磁波を測定し、PCB 配置位置がシールド効果に大きく影響を及ぼすことも示された。車載用 PCB については、搭載 IC の電源電圧変動に起因する電源系放射ノイズ [79] や直流モータによる伝導ノイズ電流 [80] を予測するための解析とその測定検証がなされた。また、PCB からハーネスへの伝導ノイズ電流が車載 FM ラジオの妨害源となるため、伝導ノイズ電流が流出しにくいスリット付きグラウンドパターン [81]~[85] が

計算機シミュレーションと測定から見出されている。

## 4. 我が国の EMC 研究の独自性と将来方向

前章で述べた EMCJ 技術報告のトピックス順位は、日本で 5 年ごとに開催される EMC 国際会議 [86] での発表論文でもほぼ同じであるが、欧米・アジア圏での EMC 会議では、その傾向はかなり違っている [87]。参考までに、図 3 に 2017 年開催の IEEE EMC 国際会議 [88] の技術セッションで発表された論文を、表 1 の分類に従って調査したトピックスの内訳を示す。図 2 のそれとは大きく異なって、「解析」「測定」「PCB」がトップ 3 であり、電磁界の生体影響を含む「生体」は「その他」にもないことがわかる。

「生体」と「PCB」という研究対象の対極にある分野が大きな関心事として EMCJ という同じ土俵で議論・報告されてきた経緯は、我が国における EMC 研究の特徴であり、これは EMC の概念を拡張し、電磁界の生体影響を含めた、あらゆる電磁環境問題を研究するとした「環境電磁工学」の研究理念に由来する [1], [7]。一方、電波エネルギーの利用拡大に伴い、医療機器を含むウェアラブル端末や IoT (Internet of Things), WPT, ミリ波帯次世代移動通信が技術革新をもたらす最新技術として世界各国において注目されているが、この種の機器は情報伝送の「信頼性」と「セキュリティ」を確保すると同時に、人体の電磁界に対する「安全性」をも担保することが最大の課題となることはいうまでもない。それ故に、こうした機器システムにはヒトを視野に入れた EMC が必須の要求事項となることは必至であり、今後は、「生体・機器の EMC」

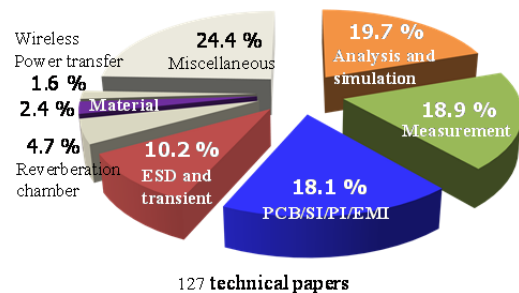


図 3 2017 IEEE EMC 国際会議の技術セッションで発表された論文のトピックスの内訳

Fig. 3 Breakdown of topics of technical papers presented at regular sessions of 2017 IEEE EMC symposium.

という我が国の独自の日本型 EMC 技術が国際標準の方向に向かうことになろう。

## 5. む す び

過去 10 年間の EMCJ 技術報告の調査から、我が国での EMC 研究の技術動向と特徴を明らかにし、今後の方向性を述べた。EMC の概念を挙げ、「環境電磁工学」という新たな学問分野が我が国で創出されたことは、欧米・アジア圏でも例はない。今後の電波エネルギーの利用拡大や多様化に伴い、これまでにないサービスを提供するウェアラブル端末、IoT、ワイヤレス電力伝送、ミリ波帯の次世代移動通信に対して、「生体・機器の EMC」という我が国の特徴的な EMC 技術が国際標準化の方向に向かうことは間違いない。半面、EMC の概念を拡張しすぎたことにより、我が国においては、EMC の理解に混乱が生じていることも事実であり、このことは EMCJ 発足当時も既に指摘されていた [1]。

今後の課題は、EMCJ が中心となって、EMC 用語を整理・統合し、若手研究者、技術者に「生体電磁気」を含む EMC の基礎教育を徹底することである。

### 文 献

- [1] 佐藤利三郎, 越後 宏, “環境電磁 (波) 工学- EMC - の現状と問題点,” 信学誌, vol.59, no.8, pp.829-835, Aug. 1976.
- [2] 遠藤幸男, “環境電磁工学 (EMC),” テレビジョン学会誌, vol.32, no.3, pp.11-18, 1979.
- [3] 佐藤利三郎, 越後 宏, “環境電磁工学の現状と展望,” 電気学会雑誌, vol.99, no.1, pp.11-18, 1979.
- [4] 高木 相, “計測制御と環境電磁工学,” 計測と制御, vol.18, no.12, pp.1012-1018, 1979.
- [5] 越後 宏, 高木 相, “環境電磁工学 (EMC) と高信頼性,” 計測と制御, vol.24, no.4, pp.296-300, 1985.
- [6] 電子情報通信学会通信ソサエティ, “環境電磁工学研究会 40 周年記念「環境電磁工学の基盤技術と未来へのメッセージ」,” March 2018.
- [7] O. Fujiwara, “Establishment of EMC research in Japan and its future prospects,” IEICE Trans. Commun., vol.E100-B, no.9, pp.1623-1632, Sept. 2017.
- [8] 古賀隆治, “日本における EMC 技術の進歩発展と将来展望,” 信学論 (B), vol.J90-B, no.11, pp.1083-1088, Nov. 2007.
- [9] 藤原 修, “静電気放電の発生電磁界と FDTD シミュレーション,” 信学論 (B), vol.J94-B, no.11, pp.1452-1460, Nov. 2011.
- [10] 藤原 修, “静電気放電 (ESD) に伴う過渡電磁界の特異性,” 静電気学会誌, vol.39, pp.48-53, Feb. 2015.
- [11] 川又 憲, “放電の EMC 問題に関する最近の研究動向と ESD 電磁雑音の特異性,” 電学論 (A), vol.138, no.6, pp.271-279, June 2018.
- [12] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz),” Health Physics, vol.74, no.4, pp.494-522, 1998.
- [13] 電気通信技術審議会答申, “諮問第 38 号「電波利用における人体の防護指針」,” pp.25-27, June 1990.
- [14] 長屋義雄, 平田晃正, 藤原 修, 長岡智明, 渡邊聡一, “小児数値人体モデルに対する全身平均 SAR の FDTD 計算,” 信学技報, EMCJ2006-10, June 2006.
- [15] 三輪紘睦, 平田晃正, 藤原 修, 長岡智明, 渡邊聡一, “乳幼児の体型に基づく GHz 帯全身平均 SAR の不確定性,” 信学技報, EMCJ2009-32, June 2009.
- [16] 三輪紘睦, 風間裕輔, 平田晃正, 藤原 修, 長岡智明, 渡邊聡一, “乳幼児の電気定数を考慮した 1-6GHz 全身平均 SAR の推定,” 信学技報, EMCJ2009-86, Dec. 2009.
- [17] J. Wang, O. Fujiwara, K. Wake, and S. Watanabe, “Dosimetry analysis of pregnant and new-born rats in a 2-GHz unrestrained whole-body exposure setup,” IEICE Technical Report, EMCJ2006-38, July 2006.
- [18] 長岡智明, 富樫聡大, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, 渡邊聡一, “平面波曝露に対する妊娠女性モデルの数値ドシメトリ,” 信学技報, EMCJ2006-101, Jan. 2007.
- [19] 河井寛記, 長岡智明, 渡邊聡一, 齊藤一幸, 高橋応明, 伊藤公一, “平面波曝露による妊娠 4, 8, 12 週の女性モデル内の SAR 評価,” 信学技報, EMCJ2007-82, Nov. 2007.
- [20] 浅山遼太, 王 建青, 藤原 修, “実環境の複数周波数電波ばく露に対する妊娠女性と子供の全身平均 SAR の計算,” 信学技報, EMCJ2012-2, April 2012.
- [21] 長岡智明, 丹羽 徹, Sonia Dahdou, Joe Wiart, 渡邊聡一, “妊娠中後期の MRI ベース高精細胎児モデルの開発,” 信学技報, EMCJ2012-52, Sept. 2012.
- [22] 浅野貴幸, 平田晃正, 藤原 修, “遠方界曝露による体内温度上昇の FDTD 計算,” 信学技報, EMCJ2006-9, June 2006.
- [23] 浅野貴幸, 平田晃正, 藤原 修, “遠方界曝露による体内温度上昇の不確定性解析,” 信学技報, EMCJ2006-82, Dec. 2006.
- [24] 浅野貴幸, 平田晃正, 藤原 修, “遠方界曝露による成人および小児の体内深部温度上昇,” 信学技報, EMCJ2007-107, Jan. 2008.
- [25] 和氣加奈子, 渡邊聡一, 山中幸雄, 多氣昌生, “2GHz 帯 W-CDMA 信号を用いた長期動物曝露実験におけるラット内 SAR の評価,” 信学技報, EMCJ2006-17, June 2006.
- [26] 金井侑也, 平田晃正, 藤原 修, 増田 宏, 河井寛記, 有馬卓司, 渡邊聡一, “1.5GHz 帯マイクロ波曝露によるラット内温度上昇の解析,” 信学技報, EMCJ2009-193, June 2009.
- [27] J. Wang, K. Wake, T. Arima, S. Watanabe, and O. Fujiwara, “Dosimetry analysis for pregnant and new-born rats based on their activity pattern in a 2-GHz whole-body exposure setup,” IEICE Technical Report, EMCJ2010-73, Nov. 2010.
- [28] J. Wang, W. Liao, H. Kawai, K. Wake, S. Watanabe,

- and O. Fujiwara, "Design and validation of a multi-frequency whole-body exposure system for bio-effect test with rats," IEICE Technical Report, EMCJ2012-11, May 2012.
- [29] A. Hirata, S. Watanabe, M. Taki, O. Fujiwara, M. Kojima, and K. Sasaki, "Temperature elevations in rabbit eye irradiated by 2.45-GHz exposure systems," IEICE Technical Report, EMCJ2006-50, Sept. 2006.
- [30] A. Hirata, S. Watanabe, M. Taki, O. Fujiwara, M. Kojima, and K. Sasaki, "FDTD simulation of temperature elevations in rabbit eye due to microwave energy," IEICE Technical Report, EMCJ2007-4, April 2007.
- [31] 杉山裕紀, 平田晃正, 藤原 修, 河井寛記, 小島正美, 山代陽子, 渡邊聡一, 佐々木一之, "マイクロ波曝露の家兔に対する深部温度上昇の検討," 信学技報, EMCJ2007-31, June 2007.
- [32] 長屋義雄, 平田晃正, 藤原 修, 長岡智明, 渡辺聡一, "GHz 帯遠方界曝露に対する人体の吸収断面積と体表面積の相関性," 信学技報, EMCJ2006-81, Dec. 2006.
- [33] 鈴木登季夫, 平田晃正, 藤原 修, 長岡智明, 渡辺聡一, "1GHz 超垂直偏波遠方界ばく露の人体に対する 2 乗平均誘導電流を用いた全身平均 SAR の推定," 信学技報, EMCJ2010-24, July 2010.
- [34] 小林範行, 河村由文, 日景 隆, 野島俊雄, 長岡智明, 渡辺聡一, "日本人モデルを用いた全身平均 SAR の平面波到来方向依存性評価," 信学技報, EMCJ2010-43, Sept. 2010.
- [35] チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 王 建青, 藤原 修, 和氣加奈子, 渡辺聡一, "電波影響試験用反射箱内電界強度分布の実験的検証," 信学技報, EMCJ2012-10, May 2012.
- [36] チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 王 建青, 藤原 修, 和氣加奈子, 渡辺聡一, "反射箱内の小動物に対する数値ドシメトリ," 信学技報, EMCJ2012-86, Dec. 2012.
- [37] チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 王 建青, 藤原 修, 和氣加奈子, 渡辺聡一, "小動物の全身ばく露を対象とした反射箱ばく露装置のドシメトリ設計," 信学技報, EMCJ2013-15, May 2013.
- [38] 張間勝茂, "反射箱を用いたヒトの吸収電力の推定," 信学技報, EMCJ2011-106, Dec. 2011.
- [39] 鈴木登季夫, 王 建青, 藤原 修, "反射箱内の電磁ばく露を想定した小児モデルに対する GHz 帯全身平均 SAR の計算," 信学技報, EMCJ2011-109, Dec. 2011.
- [40] 鈴木登季夫, 王 建青, 藤原 修, "ヒトボランティアを対象とした反射箱による GHz 帯全身平均 SAR の測定と検証," 電磁環境研究会資料, EMC-11-22, pp.17-22, Oct. 2011.
- [41] J. Wang, T. Suzuki, O. Fujiwara, and K. Harima, "Measurement and validation of GHz-band whole-body average SAR in a human volunteer using reverberation chamber," Physics in Medicine and Biology, vol.57, no.23, pp.7893-7903, 2012.
- [42] 太良尾浩生, 桐田和樹, 林 則行, 伊坂勝生, "低周波暴露磁界と人体組織内誘導電流の関係," 信学技報, EMCJ2007-90, Nov. 2007.
- [43] 池畑政輝, 吉江幸子, 鈴木敬久, 多氣昌生, 早川敏雄, "静磁界と極低周波変動磁界の重畳曝露による生物影響の評価," 信学技報, EMCJ2007-91, Nov. 2007.
- [44] 高野志規, 平田晃正, 藤原 修, "参考レベル/MPE の極低周波電磁界曝露による体内誘導電流密度/電界," 信学技報, EMCJ2009-85, Dec. 2009.
- [45] 芳野裕樹, 伊郷翔太, 桂木路彦, 多氣昌生, "中間周波数電界を用いた人体近傍電界通信機器からの人体曝露評価," 信学技報, EMCJ2012-9, May 2012.
- [46] 上村佳嗣, 山浦大器, 山下 翠, 佐藤 健, "IH 調理器周辺にばく露レベル測定に関する一検討 (第 2 報)," 信学技報, EMCJ2015-2, April 2015.
- [47] 太良尾浩生, 林 則行, 伊坂勝生, "電磁調理器からの中間周波磁界による成人及び小児モデル内の誘導電流解析," 信学技報, EMCJ2006-15, June 2006.
- [48] 上村佳嗣, 光野正宜, 山田芳文, 西澤一郎, Friedrich Landstorfer, "交流式電気シェーバの等価磁気ソースモデルに関する一検討," 信学技報, EMCJ2006-16, June 2006.
- [49] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (1 Hz to 100 kHz)," Health Physics, vol.99, no.6, pp.818-836, Dec. 2010.
- [50] 棟方亮成, 上村佳嗣, "接触電流測定用等価回路に関する検討," 信学技報, EMCJ2015-6, April 2015.
- [51] 石原 哲, 大西輝夫, 平田晃正, "情報家電機器用無線電力伝送システム近傍における磁界測定法," 信学技報, EMCJ2014-19, July 2014.
- [52] 岩本卓也, チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 和氣加奈子, 藤井勝巳, 有馬卓司, 渡辺聡一, 宇野 亨, "2 つの異なる MHz 帯ワイヤレス電力伝送システムにおける人体ばく露評価の比較," 信学技報, EMCJ2014-88, Jan. 2015.
- [53] 柳島慶太, 多氣昌生, "準静的な電界および磁界による人体内部誘導電流の周波数スケーリングに関する検討," 信学技報, EMCJ2016-68, Jan. 2016.
- [54] 下山 賢, チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 和氣加奈子, 浜田リラ, 有馬卓司, 宇野 亨, 渡辺聡一, "実測に基づいた中間周波数帯 WPT システム近傍における SAR 評価法の一検討," 信学技報, EMCJ2016-46, July 2016.
- [55] 松原老樹, 吉野 創, 和田圭二, 鈴木敬久, "自動車用 WPT システムを対象とした生体影響評価用磁界発生装置の検討," 信学技報, EMCJ2016-53, Sept. 2016.
- [56] 高嶋将大, 戸花照雄, 笹森崇行, 阿部敏士, "線状導体を接続したプリント基板からの電磁波放射解析," 信学技報, EMCJ2006-18, July 2006.
- [57] 賀 文寿, 渡辺 毅, 飯塚 裕, "LSI を搭載したプリント回路基板の EMI シミュレーション," 信学技報, EMCJ2006-40, July 2006.
- [58] 津田剛宏, 鶴生高徳, 市川浩司, "LSI のパッケージ構造を考慮した EMI モデルの改良," 信学技報, EMCJ2006-84, Dec. 2006.
- [59] 貞利章文, 酒井陽平, 渡辺哲史, 豊田啓孝, 五百旗頭健吾, 古賀隆治, 和田修己, "コモンモードアンテナモデルによるコネクタ接続されたプリント回路基板からの放射電磁波

- 予測,” 信学技報, EMCJ2007-9, April 2007.
- [60] 福増圭輔, 渡辺哲史, 豊田啓孝, 五百旗頭健吾, 古賀隆治, 和田修己, “コモンモードアンテナモデルを用いたプリント回路基板からの放射予測~励振源の重ね合わせに関する検討~, ” 信学技報, EMCJ2007-25, June 2007.
- [61] 小林隆一, 中村尚倫, 田島公博, “コモンモード電圧・電流の同時測定方法の検討,” 信学技報, EMCJ2008-5, April 2008.
- [62] Y. Kayano and H. Inoue, “An equivalent circuit model for predicting CM radiation from a surface-microstrip line structure,” IEICE Technical Report, EMCJ2007-58, Oct. 2007.
- [63] 松元計典, 豊田啓孝, 五百旗頭健吾, 古賀隆治, “プリント回路基板上に構成するフィルタ設計を目的とした伝送線路モデルを用いた等価回路モデルの構築,” 信学技報, EMCJ2009-112, Jan. 2010.
- [64] 大崎英弘, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝, 古賀隆治, 和田修己, “LECCS-I/O モデルの広帯域化を目的とした 3 ポート S パラメータ測定によるインピーダンスパラメータ抽出法の検討,” 信学技報, EMCJ2006-21, July 2006.
- [65] 小山 敦, 久門尚史, 和田修己, “時変抵抗を用いた LECCS モデルによる CMOS 出力バッファの線形時不変解析,” 信学技報, EMCJ2007-8, April 2007.
- [66] 東 亮太, 五百旗頭健吾, 津田剛宏, 市川浩司, 中村克己, 豊田啓孝, 古賀隆治, “配線パターンを変化させた基板による多電源ピン LECCS-core モデルの評価,” 信学技報, EMCJ2008-33, July 2008.
- [67] 安原昌克, 船戸晃宏, 齊藤義行, Umberto Paoletti, 久門尚史, 和田修己, “多電源ピン LSI のブロック間寄生結合を考慮した LECCS-core モデルに関する検討,” 信学技報, EMCJ2008-91, July 2008.
- [68] 田坂智也, 岡 典正, 五百旗頭健吾, 豊田啓孝, 古賀隆治, “二つの電流源をもつ EMC マクロモデル LECCS-I/O による CMOS インバータ IC の電源および出力電流シミュレーション,” 信学技報, EMCJ2009-35, Sept. 2009.
- [69] 岡部知玄, 佐々木伸一, 吉松晋太郎, “プリント配線板における電源層からの放射雑音低減方法に関する一考察,” 信学技報, EMCJ2008-8, June 2008.
- [70] 佐々木雄一, 宮崎千春, 岡 尚人, 三須幸一郎, “プリント基板の電源系バスコン配置条件の違いによる電圧分布,” 信学技報, EMCJ2009-19, May 2009.
- [71] 野崎孝英, 中西秀行, 田中顕裕, “部分的な電源・グラウンド対向部位によるプリント基板のノイズ対策におけるバイバスコンデンサ併用効果,” 信学技報, EMCJ2014-26, July 2014.
- [72] 中本藤之, 佐々木雄一, 渡邊陽介, 宮崎千春, 岡 尚人, “基板実装型コモンモードチョークコイルの電磁界解析用モデル,” 信学技報, EMCJ2012-109, Jan. 2013.
- [73] 水井健太, 和田修己, PAOLETTI Umberto, 久門尚史, “プリント回路基板と IC の電源系配線の平衡度制御によるコモンモード電流低減設計,” 信学技報, EMCJ2007-45, Sept. 2007.
- [74] 安道徳昭, 鳥屋尾博, 塚越常雄, 原田高志, “電子機器の電源ノイズ抑制に向けた EBG 構造の検討,” 信学技報, EMCJ2007-110, Jan. 2008.
- [75] 矢野誠士, 豊田啓孝, 五百旗頭健吾, 古賀隆治, 近藤幸一, 吉田栄吉, “EBG 構造を形成した電源/グラウンド層へのノイズ抑制シート適用による不要電磁波伝搬抑制効果の評価,” 信学技報, EMCJ2009-2, April 2009.
- [76] 宮田翔吾, 勝間田和輝, 春日貴志, 萱野良樹, 井上 浩, “PCB をノイズ源とした筐体まどからの電磁放射の検討,” 信学技報, EMCJ2006-52, Oct. 2006.
- [77] 宮田翔吾, 萱野良樹, 井上 浩, “PCB をノイズ源とした筐体まどからの電磁放射の検討 (その 3),” 信学技報, EMCJ2007-14, May 2007.
- [78] 米田 諭, 熊本武文, 宮崎千春, 岡 尚人, “基板グラウンド間 1 点接続によるコネクタのシールド検討,” 信学技報, EMCJ2009-28, June 2009.
- [79] 白木康博, 山中康弘, 阿部則夫, “電子機器の電源電圧変動に起因する EMI のモーメント解析,” 信学技報, EMCJ2006-53, Oct. 2006.
- [80] 鳥越 誠, 土江慶幸, 矢作保夫, 須賀 卓, 大坂英樹, 稲垣隆之, “車載機器の等価回路化による伝導ノイズ解析手法の検討,” 信学技報, EMCJ2013-92, Nov. 2013.
- [81] 前野 剛, 鶴生高徳, 市川浩司, 藤原 修, “グラウンドパターンを変化させたことによるプリント回路基板から流出する伝導雑音電流の低減効果,” 信学技報, EMCJ2006-88, Dec. 2006.
- [82] 上山博也, 前野 剛, 平田晃正, 王 建青, 藤原 修, “グラウンド層スリット付きプリント回路基板から流出する伝導雑音電流の FDTD 計算,” 信学技報, EMCJ2007-96, Dec. 2007.
- [83] 前野 剛, 上山博也, 飯田導平, 藤原 修, “プリント回路基板の平行 2 配線間における FM 帯クロストークの特性とその機構,” 信学技報, EMCJ2008-62, Oct. 2008.
- [84] 飯田導平, 前野 剛, 藤原 修, “車載用プリント配線基板における FM 帯平行 2 配線間クロストークのリターングラウンドサイズ依存性,” 信学技報, EMCJ2010-38, July 2010.
- [85] 飯田導平, 前野 剛, 王 建青, 藤原 修, “車載用プリント配線基板における平行 2 配線間クロストークのグラウンドパターンサイズ依存性,” 信学技報, EMCJ2010-126, March 2011.
- [86] M. Taki, “EMC'14/Tokyo report,” IEEE EMC Magazine, no.3, pp.95-99, 2014.
- [87] 仁田周一, “EMC の研究動向と EMC 技術者の背景,” 環境電磁工学研究会 40 周年記念誌「環境電磁工学の基盤技術と未来へのメッセージ」, pp.67-71, March 2018.
- [88] Proc. 2017 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity, Washington, D.C., USA, Aug. 2017.

(平成 30 年 9 月 25 日受付, 12 月 3 日早期公開)



藤原 修 (正員：フェロー)

1971 名工大・工・電子卒. 1973 名大大学院修士了. 同年 (株) 日立製作所中央研究所入所. 1976 同所退職. 1980 名大大学院博士後期了. 名大・工・助手, 講師を経て, 1985 名工大・工・助教授. 1991-1992 スイス連邦工大・客員教授. 1993 名工大・工・教授. 2012 名工大定年退職. 同年 4 月名工大名誉教授, 名工大プロジェクト教授, 電通大産学官連携センター客員教授, (株) ノイズ研究所技術顧問. 放電雑音, 生体電磁環境, 環境電磁工学に関する研究に従事. 工博. 1980 電気学会電気学術振興賞 (論文賞) 受賞. 2000 本会論文賞受賞. 2010 電気学会基礎・材料・共通部門特別賞 (学術・貢献賞) 受賞. 2010 度文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) 受賞. 2013 電気学会電気学術振興賞 (進歩賞) 受賞. 2014 電気学会業績賞受賞. 電気学会フェロー, 2015 IEEE EMC Society Honored Member Award 受賞. IEEE Life Member, BEMS Full Member.