

日本における EMC 技術の進歩発展と将来展望

古賀 隆治[†]

Development and Prospects of EMC Engineering in Japan

Ryuji KOGA[†]

あらまし 最近 10 年間に電子情報通信学会環境電磁工学研究専門委員会に登場した研究報告のテーマを分類し変遷を調べた。これをベースにして環境電磁工学に関する研究テーマの現在と近未来の予測を試みた。

キーワード 環境電磁工学, 研究課題

1. ま え が き

環境電磁工学の技術課題については、1970 年代より本学会通信ソサイエティ環境電磁工学研究専門委員会が中心になって情報の交換にあたっている。この問題は、人間が社会的規模で電気を、特に通信に使い始めたときに、すぐに発生した。以来およそ 100 年。周波数は 100 GHz に、通信距離は火星まで数百万 km に及び、地球上で交わされる情報量はすぐには想像もつかないほど多量であり、個人が日常的に行う通信の情報速度も 100 Mbit/s が珍しくない。この間に環境電磁工学の課題は、単に通信にかかわるだけでなく、高速デジタル電子装置の放射雑音電磁界、電磁界の生体に及ぼす影響から電磁現象そのものの解明、放電現象の科学など、より深い基礎知識の探求と、新たに起こった問題の解決という両方向への活動が続いている。

本文は、筆者が(社)関西電子振興センターの発行する“KEC 情報”誌に掲載するために調査し、書いた報告書 [1] に手を加え、表現を改めたものである。

2. 過去 10 年間の研究状況

2.1 環境電磁工学 (EMCJ) 研究会

日本では、EMC に関する技術的情報は、各種のセミナーと、電気学会の電磁環境技術委員会、エレクトロニクス実装学会の電磁特性技術委員会、そして電子情報通信学会環境電磁工学 (EMCJ) 研究会で定期的

に議論がなされている。

EMCJ 研究会は 1977 年に設立されて以来、当初は現場に根ざした課題から始まり、次第に対象領域を広げてきた。そこで、EMCJ 研究会の成果である技術研究報告 [2] から、最近 10 年間のテーマの変遷を追ってみたものが図 1 である。テーマの分類は表 1 によって行い、細かいテーマはくくってある。

これを見ると、計測技術、電磁雑音放射 (EMI) の制御、吸収体を主とした材料、それに生体影響の問題が大きな割合を占めていることが分かる。生体に関する議論は約 10 年前に火がついたが、国による予算措置がとられて研究が拡大し、今収穫期に来ていることがこの図から読み取れる。また、電気自動車を含むカーエレクトロニクスの高度化が EMC 問題に直面しており、また、新しい通信技術、電力線通信 (PLC) が、焦眉の課題となっている。課題別に追ってみる。

2.2 PCB・機器、ケーブル

大きな目標は、機器に接続されたケーブルに乗るコモンモード電流を抑える、ということにつける [3]。この問題は、回路・装置の設計をキルヒホッフの法則に基づいて行うだけでは決して解決せず、電子装置が分布定数系である、電磁波回路である、という認識のもとに作業をしなければならない。かといって、いつでも FDTD のような高度な電磁界分布計算をしていては間に合わないの、計算時間と精度の妥協を図る方が要求される。これを作り出そうというのが電磁波放射 (EMI) 抑制技術の一つの柱となっている。プリント回路基板 (PCB) の電源層 ~ グランド (GND) 層間共振や信号線路のコモンモード励振を見通しよく

[†] 岡山大学工学部, 岡山市
Faculty of Engineering, Okayama University, Tsushima,
Okayama-shi, 700-8530 Japan

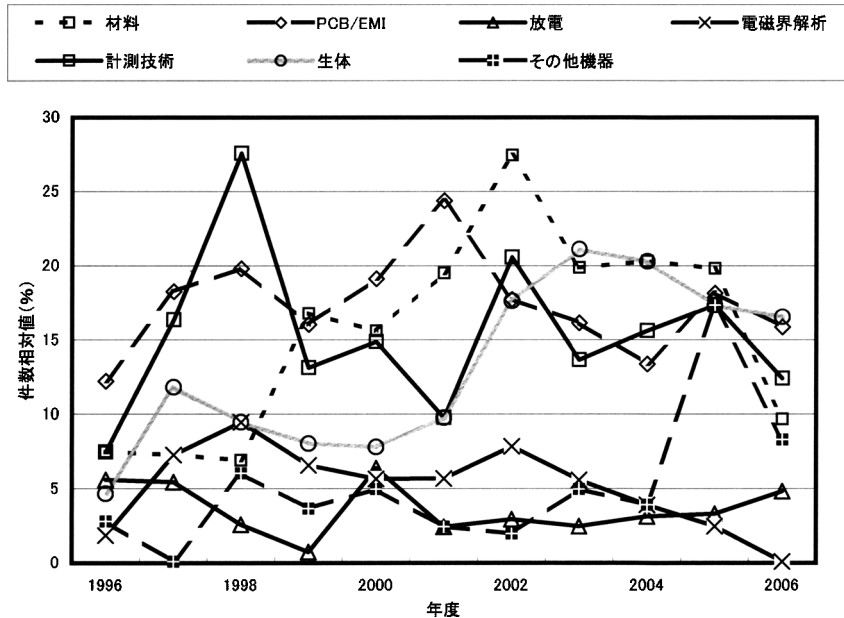


図1 EMCJ (電子情報通信学会環境電磁工学研究専門委員会)で1996~2006年度に発表されたテーマの推移

Fig.1 Topics that appeared in EMCJ symposiums in 1996-2006, as rearranged in the change along years. Relative numbers in each year are counted.

表1 研究会発表テーマの分類

Table 1 Categories of topics in EMC by which the presentations made in EMCJ were sorted.

PCB	電源・GND系	材料	ϵ μ 測定	生体	SAR
	Signal Integrity		meta-material		非熱的影響
	伝送線路		吸収体		医用応用
	CommonMode		シールド		対策例
	CrossTalk		ESD		対策部品
放射	近傍界	放電	雷	対策	接地
	遠方界		接点		自動車
Immunity		電磁界解析	解析	その他機器	航空機・鉄道・船舶
Common/放射			放射予測		PLC
ケーブル	Immunity	電磁環境	雑音源モデル	規格・規制	ITS/ETC
	平衡-不平衡変換		地上電波環境		無線LAN
機器	放射	宇宙・電離層	サイト		BlueTooth
	Immunity		アンテナ		JJWB
LSI	駆動源モデル	計測技術	プローブ	パワエレ	
	Immunity		波源推定		
			Immunity		

説明するモデルの開発が精力的に行われ [4], [5], また電磁界解析を高速化する試みもねばり強く行われている [6]. 計算機の資源が安価に, かつ容易に利用できる傾向がこの方向の発展を助けている.

デジタル電子装置のクロック周波数が数 GHz にも及ぼうという昨今では, ほんの数 mm 長のマイクロストリップ線路でも信号波形のなまりが気になり,

更に LSI の内部配線でさえ同じことが問題となりつつある. これまでは, 「電気信号は導体の中を伝わる」と理解され, キルヒホッフの法則が基本原理であったのに対して, 「電気信号は導体に導かれてその近傍の空間を伝わる」という認識に変えざるを得ない. この点に関する技術者の教育が必要となる.

プリント基板上のマイクロストリップ線路 (MSL)

は、まことに量産向けの構造をしているが、これが多層基板上に構成されると、隣接する線路間のクロストークと、自線路内での波形ひずみ、信号伝搬の遅延が問題となる。異なる層間を VIA でつなぐと、電源～GND 層間に電磁エネルギーを注入し、GND 電位の変動を来す。蓄積された電磁エネルギーは端部より放射され、周辺に接続されたケーブルには共通モード電流が乗ることになる。あるいは GND 層の電位を揺すり、デジタル素子のスレッショルド電位を変化させてビット誤りの原因となる。これらの解決には、電子装置を回路図だけに頼って設計しては解決できず、どうしても三次元的な構造設計が必要となる。多くの研究発表はこの方向に向かって動いているが、今のところほっとするような大成果は見られていない。LSI については、PCB における問題をそっくりスケールダウンする形での問題提起がなされており、近い将来の超高周波化に備えている。また、低 EMI 設計を高速に行う上で、LSI が PCB を駆動する能力に関する等価回路が必要であり、その迅速な同定に関する研究が行われている [7]。これには世界的な協調が必要であり、国際電気標準会議 (IEC) での交渉が進んでいる。

2.3 材 料

同一空間中に異なる電波が存在すると混信する、という現象を避けるために、余分な電波を壁などに吸収させて解決するために用いられる。特に、高速道路における ETC システムでは、散乱波による障害を防ぎ [8]、家屋内の無線 LAN では、チャンネルの有効活用とセキュリティ確保に有効とされるが、建材としての特性も絡むので活発な研究が行われている。また、自然界にはない特殊な性質を、人工的な構造あるいはアクティブ素子を併用することで得ようとするメタマテリアルの研究も行われている [9]。極限的な性能が必要な場合には解決手段となり得る。

2.4 放 電

雷は、古来より、今の電気通信の時代に至るまで常に“三怖い”の一つである。雷の発生機構、実態を知る努力は今も続けられている。最近になって浮上してきたのが、日常的な静電気放電で、いかめしい装備に取り囲まれた計算機システムがいとも簡単にダウンしてしまう。サブナノ秒のインパルスの発生と伝搬形態はいまだに研究の対象である [10]。接点から発生する電磁波もこのたくいであり [11]、エレクトロニクス装置にとっては必須のデバイスでありながら微小放電機構に関してはいまだに不可思議が多い。

2.5 電 磁 環 境

古くは空電雑音とかコロナ雑音、少し新しくなると電気機器からの雑音などが興味の対象であったが、最近では、地震に伴って発生する電磁雑音などが一般の興味を引いている。最近では、社会全体に電気機器、特にデジタル電子装置が増加しているので都市部での電磁環境が変化している。また、ISM 帯を利用する無線 LAN などが普及する趨勢にあるので、新たな調査が必要である。

2.6 計 測 技 術

新しい技術にはそれなりの計測が必要であり、計測技術は常に研究課題の最前線に存在している。通信に用いられる電波や、デジタル機器のクロック周波数が上昇するとともに、これまでは問題にならなかったようなことが騒ぎを引き起こしてきた。例えば、以前では PCB だけが EMI に関する検討対象であったものが、最近では LSI そのものも考慮する必要が出てきており、そのピンに流れる電流を直接に測る、などが必要である。これを計測するには昔ながらの方法では役に立たず、いろいろなプローブが出現して用いられ始めた [14]。

また、EMC については規格・規制との絡みが密接なので、時には理屈には合わない方法でもとりあえず、といった感じで規格として用いられているように見受けられる。これも将来は新しい計測技術を開発若しくは導入することにより、今よりも科学的・技術的な方法に改める動きが出なければならない。

2.7 生 体 関 係

携帯電話機の電波が人体にとって危険か安全か、という一般人にとってはとても興味深く、しかも専門家からでも説明しにくい話題が沸騰している。周波数が 1 GHz 前後では、主として熱効果が大いといわれ、SAR (比熱吸収率) を予測し、あるいは携帯電話機の実機について計測することが必要である。前者については膨大な手間をかけて人体モデルを作り計算機シミュレーションに供する作業が行われ [15]、多くの検討が行われている。また、電力線など、周波数が低いところでの非熱効果については、研究が進行しているが [16]、単純な結論を出すにはいまだ時間がかかるのではないだろうか。あるいは、一般大衆向けの分かりやすい結論というのはどだい無理なのかもしれない。

電磁波による誘導加熱を医療に応用する研究があり [17]、ガンの治療に期待が寄せられている。そこで用いられる、あるいは開発される知見は、PCB ある

いは電子機器内外の電磁界を制御することを通じており、目が離せない。

2.8 対 策

EMC/EMI に関する対策事例は、工業社会の中には無数にといっているほどあるはずである。しかし、これはいわゆる“シモネタ”であるために、なかなか公開の場には出てこない。対策部品を供給する組織から時折情報が出てくるくらいである。

最近でホットな話題は、電気を動力エネルギーに使う自動車である。燃費の向上、大気汚染軽減の両方を達成するものとして世にもてはやされ、純電気自動車は時期尚早としても、ハイブリッドカーを用意していない自動車メーカーは早晚存亡の危機に立たされそうな様子である。自動車の内部空間はおおむね閉じており、その中で巨大なスイッチング電源をもつパワーエレクトロニクスシステムと、GPS あるいは FM ラジオシステムを共存させることは容易なことではない[18]。このような局面から EMI/EMC 技術は飛躍的な発展をする可能性がある。従来の技術基準ではとても損益計算に乗らなかつた高度な技術が現実になるかもしれない。

航空機はどちらかという機械技術者が主導する世界で、これまでは我々の目で見ると、保守的にして高周波には向かない技術で電気システムが運用されてきた。最近では、旅客機の客室でパソコンはもちろん、携帯電話も使えるようにしたい、という要求が高まり、それに対応する動きが出てきている[19]。また、旅客機キャビンの中が極端な乾燥状態であるために起こる ESD 問題も深刻で特別な対策が必要である。

鉄道は古くより、動力と信号、それに無線通信への干渉が問題であった[20]し、技術的な蓄積も多いはずであるが、鉄道乗客への心理的影響を考慮して、公開の場で議論されることは珍しい。船舶も同様な事情にあるはずであるが、これまでのところ EMC 技術を積極的に取り上げて技術課題とすることはあまりなく、あくまで問題が発生した後の対策に終始しているようである。

2.9 電力線通信 (PLC)

ホームエレクトロニクスを標榜する研究が 10 年以上前から行われてきたが、それに必要不可欠な要素として、電力線通信が一昨年から大きな話題となった。漏えいする短波帯の電波が、アマチュア無線を主とする無線通信、あるいは電波天文学の研究に干渉することが問題である。多くの理論的・実験的検討を経て[21]、昨年ようやく規制の内容が確定し、日本でも実用が始

まった。この規制はずいぶん厳しいので、製造各社の技術開発が盛んになるのが楽しみである。

3. 今後の発展を予測する

これもやはり課題別に追ってみる。

3.1 PCB・機器、ケーブル

とにかく周波数が高くなるのが技術的問題の根元である。それに伴い、波長で測った装置の大きさが大きくなり、集中定数モデルでは扱えなくなり、分布系としての扱いを避けることはできない。

しかし、FDTD 法あるいは MoM などで、強引に電磁界解析をすることは、ときには行われても所要の計算量が膨大であるから、パーソナルコンピュータ (PC) を用いて日常的に設計に用いるには無理がある。そこで簡便に EMI を予測するツールが必要になる。この方面の研究はいくつかの大学で努力が続けられており、近いうちに使い物になるシステムが供給されるであろう。また、デジタル回路と無線通信を同じ筐体に収める、例えば携帯電話などの小型化、高度化が進むので、その開発はまだまだ上記のツールをもってしても困難であり、電磁界の直接計算は避けられない場面が多く残るであろう。

LSI は PCB の上に装着され、EMI の予測には LSI の雑音駆動力を定量的に知る必要がある。そのために LSI の等価回路がほしいところであるが、日本では LECCS モデル、ヨーロッパでは ISEM モデルが登場し、業界標準として採用される動きがある。従来の SPICE あるいは IBIS モデルが、一長一短であるところを補えようである。

3.2 材 料

今でもフェライトがいろいろな場面で用いられているが、残念ながら 1 GHz を超えるあたりから透磁率 μ が落ちるのが現実である。これを何とかしてほしいというのは素人考えだろうか。あるいは、メタマテリアルの考えや、今はやりのナノ技術を組み合わせて何とかならないだろうか。大いに期待したい。それと導電性高分子材料で特性インピーダンスが空間のそれに近いものはいまだ出現していない。電波隠れ蓑とか効果的な遮へいにもってこいなのだが。

3.3 電磁界解析

パーソナルコンピュータの性能は飽和しないのだろうか。消費電力の劇的低下はあり得るのだろうか。もしこれらが解決あるいは実現すると、パーソナルコンピュータを並列化あるいはグリッド化して電磁界解析が可能

になる。PCB の EMC/EMI 設計に際し、どこかの局面では電磁界の三次元計算が必要になるので、こんなことが気になる。アンテナの設計にも大いに寄与する。

3.4 電磁環境

現在のところ、電磁環境を語るときは周波数領域で、すなわち正弦波形を基礎としてパワースペクトル密度関数が使われる。理論的にはこれで語り尽くされているかもしれないが、有限の周波数で打ち切るとき、そして UWB、PLC など極端に帯域の広いスペクトル拡散通信方式 (SSS) を検討するときには問題が発生する。数学的には正弦波関数以外の正規直交基底も存在するので、特別な変調あるいはコード方式に特化したスペクトル測定手段がほしい。まだ見ていない。

正弦波をまず考えるのは、数学の教科書にそう書いてあるからなのか、それとも LC 同調回路を前提にするからではないだろうか？

3.5 生 体

電磁波の人体に対する影響を定量的に、十分な確度でもって表すことはなかなか困難のことと思う。当分研究は続くであろう。社会的現象について、個人的には「マーガレット症候群」という症状名を考えついている。お会いしたときに語りたい。医療応用はますます重要になると思う。特に、電磁波ビームの制御が計算機の進歩と新材料の開発によって可能になり、また周波数域が 100 GHz を超えて THz に近づくと今では考えられないような応用が期待できる。

3.6 交通機関における EMC 問題

前章にも書いたが、自動車に関する EMC/EMI 問題は深刻で、今後の EMC 技術の牽引役を務めるのではないだろうか。地球の温暖化問題に対する一つの救世主は宇宙太陽発電である。しかし、宇宙での機器運用に関する信頼性確保と電力搬送の際の生体影響にめどをつけねばならない。

4. む す び

思いもよらず 10 年間の発表テーマを整理する機会を頂いた。読み進めてみると、これまで新人と思っていた人がずいぶん前からそのテーマにかかわっていたり、ひところ盛んに発表しておられた方が鬼籍に入っておられて感慨にふけったりした。関係の皆様深く感謝する次第である。

文 献

- [1] 古賀隆治, “EMC 技術の進歩発展と将来展望” KEC 情報, vol.200, pp.4-8, 関西電子工業振興センター, 2007.
- [2] 信学技報, EMCJ1996-1-2006-114.
- [3] 石丸和寿, 前田 登, 村瀬 隆, 近藤耕治, “車載 LAN におけるコモンモード電流の推定—S パラメータを活用した通信路モデル” 信学技報, EMCJ2005-121, 2005.
- [4] 塩田正博, 松原清隆, 宮崎千春, 徳田正満, “ディファレンシャル型マイクロストリップ線路の GHz 帯における対地平衡度と放射電磁界” 信学技報, EMCJ2006-33, 2006.
- [5] 酒井陽平, 古賀隆治, 渡辺哲史, 和田修己, “プリント回路基板上的コモンモード電位分布を用いた電磁放射計算法の提案” 信学技報, EMCJ2005-49, 2005.
- [6] 渡邊貴之, 鈴木雅也, 加茂篤司, 浅井秀樹, “PCB を対象とした FDTD 法による近傍電磁界のモデル化と SPICE による高速解析” 信学技報, EMCJ2001-10, 2001.
- [7] 大崎瑛弘, 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, 2006.
- [8] 松本好太, 滝本 真, 橋本 修, 酒井正和, “ETC レーン間用格子型電波吸収体に関する基礎検討” 信学技報, EMCJ2006-2, 2006.
- [9] 小塚洋司, 杉山真一郎, 河村主税, “コンピュータ制御型人工媒質の電波吸収特性について” 信学技報, EMCJ2005-21, 2005.
- [10] 加川義久, 高 義礼, 藤原 修, “帯電人体の指先接触による放電電流の広帯域測定” 信学技報, EMCJ2007-26, 2007.
- [11] 萱野良樹, 中村達也, 宮永和明, 森 拓也, 井上 浩, “銀接点低速開離時アークの GHz 帯までの電磁ノイズ計測 (その 3)” 信学技報, EMCJ2006-42, 2006.
- [12] 山本 勲, 久我 清, 岡林 徹, 阿座上孝, “VHF バンドによる地震前兆波ノイズ観測システムの立ち上げ—地震予知システムの実現を目指して” 信学技報, EMCJ2001-17, 2001.
- [13] 岩間美樹, 篠塚 隆, 山中幸雄, “短波帯電波雑音の解析方法の検討” 信学技報, EMCJ2006-7, 2006.
- [14] 高橋正慎, 太田博康, 安達信泰, 荒井賢一, “磁性ガーネット薄膜による近傍磁界分布測定” 信学技報, EMCJ2005-152, 2005.
- [15] 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, 2006.
- [16] 雨宮好文, “低周波磁界と小児白血病に関する我が国の大規模疫学調査結果の総括の試案” 信学技報, EMCJ2004-48, July 2004.
- [17] 萱原裕樹, 小塚洋司, “インダクティブサーマルセラピーにおけるエディカレントの制御方法に関する考察” 信学技報, EMCJ2005-47, 2005.
- [18] 前田 登, 平山雅人, 石坂宗徳, 今井孝志, “車両ワイヤハーネスにおけるノイズ伝搬スペクトルの算出—多導体伝送線路モデルによる” 信学技報, EMCJ2004-116, 2004.
- [19] 山本憲夫, 平田俊清, 水町守志, 酒井忠雄, “航空機における経路損失” 信学技報, EMCJ98-101, 1998.
- [20] 田口明夫, “鉄道信号保安装置のおかれている電磁環境と IMMUNITY 規格の最適化” 信学技報, EMCJ96-11, 1996.

- [21] 森 晃, 渡邊陽介, 徳田正満, 河本康二, “高速 PLC モデムを用いた電力線伝送特性の検討” 信学技報, EMCJ2006-20, 2006.

(平成 19 年 7 月 3 日受付)



古賀 隆治 (正員)

1972 京都大学博士課程了. 1972 京都大学原子エネルギー研究所助手. 動力用原子炉の最適制御の研究. 1976 岡山大学工学部講師. レーザー応用計測, 光電子工学, パーソナルコンピュータの EMI 解析. 1986 同大学教授, 2005 ~ 2006 年度本会環境電磁

工学研究会委員長.