

閉空間における携帯電話端末 の電波の状況について

■ 寄稿

電車内の携帯電話電波は蓄積して心臓ペースメーカーに強く影響するか？

— 閉空間電磁界問題とオルバースのパラドックス —

北海道大学
教授
工学博士
野島 俊雄
Toshio NOJIMA



1. 背景

電車や地下鉄に乗ると「心臓ペースメーカー（以下PMと略称）に影響する恐れがあるため、携帯電話の電源をお切り下さい。」というアナウンスを耳にする。2003年11月からは、「車内の優先席付近では電源オフにすること。それ以外ではマナー・モードに設定し、通話は禁止」という統一のルールを17の関東鉄道事業者が設けて広報している。図1のポスターはその一例である（筆者が本物を真似て作成）。ところが欧米各国や中国などでは、電車やバス内でも一切気にせず大声で電話を使っている人が多く、日本のような注意を見ることも聞くこともない。ただイスラエルの健康省は、「列車、エレベータでの携帯電話使用を避けるべし」としているらしい（2008年のインターネット）。理由は電波による健康影響への懸念からであり、PM影響ではない。図1のような対応は現時点では日本独自である。ただし、航空機内につき電源オフの法規制が世界的に設けられているが、これは搭載機器への電磁干渉（Electro-Magnetic Interference：EMIと略称）リスク回避のためである。電車内のPM-EMIについてインターネットを検索すると多くの関連記事が出てくるが、「携帯電話電波による事故の発生を世界中で聞いたことがない。日本の対応は意味のないことではないか？」といった意見もある。

さて、2002年6月3日の朝日新聞夕刊に「携帯電話、電源オンで・・・通勤電車に電磁波充満？（囲いの中で重複・反射）」なる記事が出て、図2のような特殊な電波環境の不安がクローズアップされた。記事の情報源は、2002年2月、日本物理学会誌に掲載された英文のレターであり⁽¹⁾、東北大学助手の本堂毅氏が著者である。同様に欧州のメディアにも掲載された（英国ファイナンシャルタイムズ2002年6月20日）。本堂の主張は、電車内のように電波が反射を繰り返す閉空間では、電波源からの距離の二乗に



図1 電車内での携帯電話利用の制限

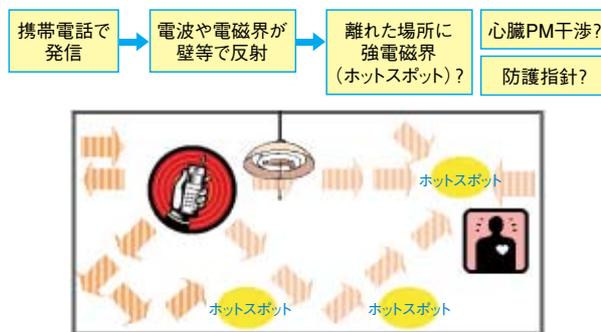


図2 電車内などでの強電磁界(ホットスポット)形成

反比例する電磁界強度分布ではなく、局所的に界の強いホットスポットが生ずる。多重に反射する電波は、人体等に吸収されない限り車内を駆け巡る。だから、PMの安全距離指針（PM植込み部位から22cm以上離せばEMIの心配なく携帯電話を利用できる）はもはや成立しない、また携帯電話数が増えれば、電波の生体影響に関わる「防護指針⁽²⁾、⁽³⁾」を超える状況が生ずるのは明らか。工学者はこれらに気づかぬドグマに陥っている⁽⁴⁾。

本堂が提起する電車内閉空間問題の最悪ケースは、

人体等による吸収を無視し、車体の金属壁によって反射が殆ど無限に繰り返すような「共振器（オーバサイズキャビティでの多重モード共振）モデル」と等価になる。さて、現実世界はどうであろうか？携帯電話が実現される以前、1980年代後半からアタッシュケース程度の大きさのショルダーホン（欧米ではトランスポータブルと呼ぶ）が商用利用されているから閉空間問題は既に20年以上現実に欧米や日本で存在していることになる。それらの出力は5Wである（WCDMA携帯の20倍）。しかし、それらの電波によるPM被害が起きたとのニュースを世界中で聞いたことはない。それに本堂の仮説が正しいとしたら、**図2**に示すように電車内照明器具からも電磁界が放射されているためこの周波数でホットスポットが生じて、様々な電子機器へのEMIが経験されるハズであるが、そのような報告はない。

ところで、「オルバース（Olbers）のパラドックス：1823年」をご存知だろうか？宇宙が無限に広がって星の数も無限であれば、夜空は昼間のように明るくなるハズ。しかし現実の宇宙は暗い。なぜだろうか？これが「星の数は有限で、しかも宇宙が膨張している」という理論を導いたのであるが、これとの類似性がイメージされる。

電車内は、携帯電話のほか無線LANが利用され（筑波エクスプレス）、今後はRFID、人体通信など様々な電波の混在する環境となるだろう。もし前述の懸念が起り得るとしたら大問題である。詳細な検討例が無かったのは事実だから、その実態を明らかにすることが重要であり、電波産業会電磁環境委員会は作業班を組織して実験調査を行った。筆者はこの活動の全てに関与し実際の特性について多くの知見を得た。本文は、それらのポイントを紹介するとともにこの問題の本質について筆者の考えを述べるものである。

2. 携帯電話電波によるPM-EMI

潜在的問題の懸念が生じた発端はデジタル携帯電話（我が国ではPDCとPHS）のFR（現場試験）で各種電子機器へのEMIが見つけれられたことにある。

例えば、カーラジオの雑音発生や医療電気機器影響などである。これはそれまでのNTT携帯電話電波が、定包絡線（振幅が一定）のアナログFMであったのに対してデジタルでは周期性（PDCでは基本周波数50Hz）の断続的包絡線を持つことが原因となる。アンテナ近くの強度の大きい近傍電磁界に電

子機器が曝されると、イミュニティ（干渉耐力）の弱い電子機器では能動素子で検波された低周波の包絡線成分が雑音や誤動作等を誘起する。

図3にPMの植え込み位置（胸部前面：鎖骨辺り）とEMIの特徴を示す。マイクロ波では、PM本体のコネクタ部がEMIに弱い。VHF帯電波では、数十cmの長さのリード線経由でEMIが発生する。**図4**は携帯電話電波によるPM-EMIを調査するための実験系照射部である。NTTドコモと日本ペースメーカー協議会が1995年に共同開発し、その後同様の評価系が世界的に利用されている⁽⁵⁾。**図5**は、1995年以降日本で使用されているPMに対して行った実験調査結果の代表例である。電波は、出力、変調周波数などを最悪条件としているから、実際の使用状態ではこの距離でEMIが発生する可能性は極めて小さい。横軸の距離は、**図3**のPMコネクタと携帯電話アンテナとの距離（人体の正面方向）となる。携帯電話使用者がPM装着者の背面に位置する場合、PM装着者本人の遮蔽効果があるためPM-EMIは殆ど生じない。

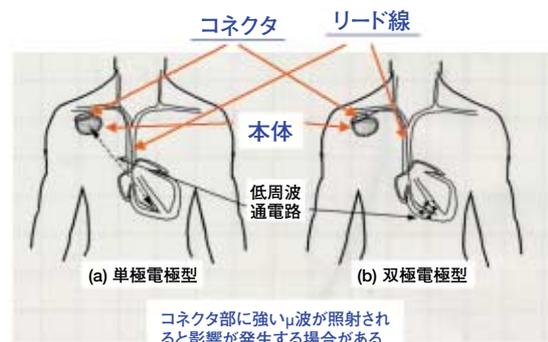


図3 植込み形心臓ペースメーカーの位置とEMIの発生箇所

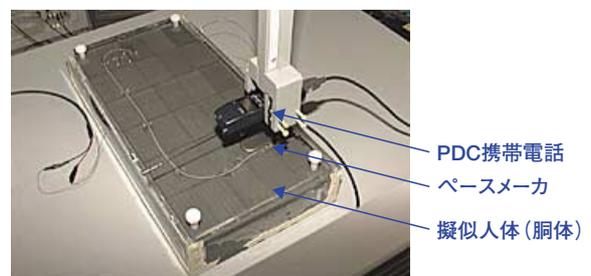


図4 携帯電話電波によるペースメーカー干渉試験模様

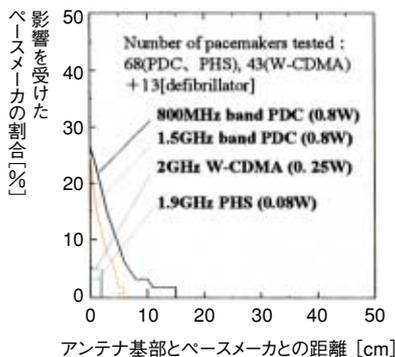


図5 心臓ペースメーカーの影響が生じた距離の実験結果例

日本で使用されるほぼ全ての機種の実験データからEMIを生ずる最大干渉距離は15cmと判定された(詳細は文献(5))。距離0cm, すなわちPM植込み部に接触するまでアンテナを近づけても70%強のPMは影響を受けない。このことから, 日本心臓ペースメーカー協議会は, 15cmに $\sqrt{2}$ 倍のマージンを掛けて22cmの安全距離指針を策定し, PM装着者, 医療施設等の関係者に周知して, EMI事故の発生を防止している。図6は注意パンフレットの一例である。EMI防止の観点であれば, 50cmといった長い距離を指針にすれば良い。なぜ22cmにしたのか? それはQOL (Quality Of Life) 向上のため, すなわち緊急時の通信手段等として他にはない利便性を持つ携帯電話をPM装着者が利用できるように配慮したためである。22cmはPM装着部位と逆側の耳で携帯電話を使用することで達成できる。なお, 今後PDCの利用数は急激に減少し第三代以降のシステムが主流となるが, その場合のPM-EMI最大干渉距離は数cmであり, 22cmの指針はさらに余裕を持ったものになる(携帯電話出力のピーク値が低下したことによる)。



電波産業会パンフレットから

図6 PM装着者の携帯電話使用指針

旧不要電波問題対策協議会(現電波環境協議会)が発表した「携帯電話電波によるPM-EMI防止のための指針(1995年参考文献(5))」には, 「PM装着者と近接した状態となる可能性がある場所(例:満員電車)では, その携帯電話端末等の無線機の電源を切るよう配慮することが望ましい」との注意文がある。これは他人の携帯電話が22cm以内に接近する可能性に配慮したものであり, 電車内での電波環境の特殊性は考慮されていない。

3. 閉空間問題とは?

図7は文献(1)で本堂が仮定した電磁界モデル(携帯電話1台)を示し, 主張のポイントは次のようになる。
 ・電車やエレベータ内で発射された携帯電話電波の一部は, 反射を繰り返して内部に蓄積する,
 ・エネルギー保存則から, 窓などから外に放射される割合(1回の反射につき)を離散率 K_d とおけば, 反射係数 R との関係は $K_d=1-R$,
 ・無限に反射を繰り返す反射波は R を公比とする数列で与えられ, 定常的な電磁界強度は等比級数和で近似できる,
 ・図7に示した aR^{n-1} が反射波の一般項である(本堂はこれをベクトルでなくスカラーで与えている),
 ・蓄積エネルギーは, $U=a/K_d$ となり, ここで a は携帯出力×定数(電車では約0.04)である,
 ・線形系だから複数の携帯電話 N 台が電波を同時に発射すると U は単純に N 倍になる。文献(1)に示された照射電力密度を図8に示す。日本の典型的な通勤車両の散逸率は0.1程度なので, PDC携帯電話(出力約0.3W)約60台が同時に通話すれば総出力は約20Wとなって, 図からICNRPの一般公衆参照レベルと同程度の照射電力密度が電車内全体で励起される。携帯電話近傍ではなく車内全域が問題となる。ここで, ICNRPはInternational Commission on Non-ionizing Radiation(国際非電離放射防護委員会)であり電磁界ばく露から健康悪影響を防ぐための国際的な指針⁽²⁾(参照すべき上限値)を勧告している(日本⁽³⁾も同様の数値)。さて, そのような状況であれば, 車内の電磁界強度は携帯電話からの距離と無関係となるから, PM-EMI障害が22cmの安全距離以上離れた場所でも起こり得るとの推論ができる。200人が同時通話し, 窓が閉じていて散逸率が0.02になったら, 電力密度は数十 mW/cm^2 近くになってしまう(図8)。これは白内障を引き起こす閾値(150 mW/cm^2)に近い強度である。このように閉空間内での携帯電話使用は従来予想されない大きな

リスクを内在する、というのが本堂の主張である。

それにしても工学者から見ると実に荒っぽい仮説である。そもそも最大数百mWの携帯電話電波が反射を繰り返して電車内部に蓄積され人体に影響するほどの電力になるというのがシッカリ来ない。それは正に共振状態ということだが、我々が利用するマイクロ波共振器で実効電力が蓄積されるのを経験したことがない（この考えがドグマ？）。電車などがQの低い共振器にはなるかもしれないが・・実際はどうだろうか？ きちんとした検討がなされていなかったのは事実であり、何らかの科学的な確認が必要である。

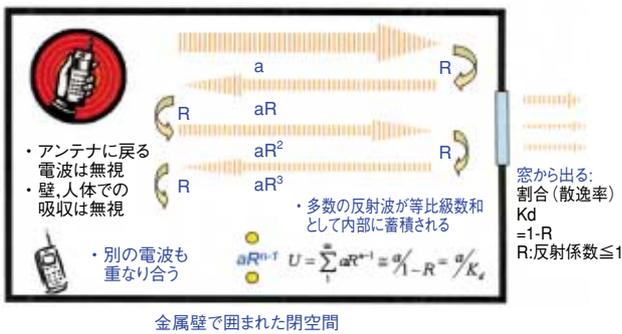


図7 本堂の閉空間電磁界モデル

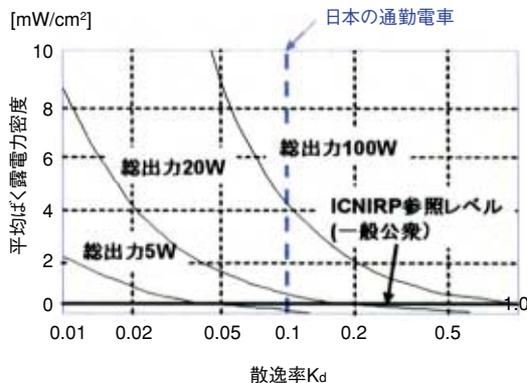


図8 本堂の近似計算結果(閉空間一般に対応)*文献(1)

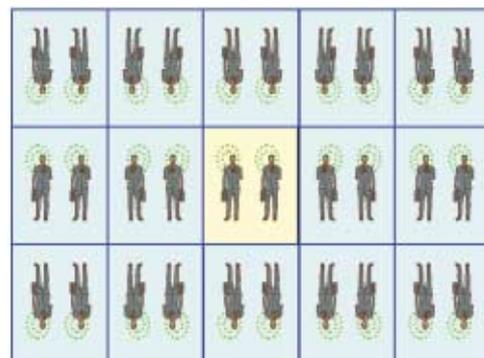
4. オルバースのパラドックス

IEEE Microwave Magazine, 2007年8月号に面白い解説記事があるのを筆者は見つけた⁽⁶⁾。著者であるクリップスによれば、多数の携帯電話電波が地球上に存在する現状は、オルバースのパラドックスと類似し、合成電磁界が一見無限になると思われるが実際はそうならないというものである。

図7の各反射波はそれぞれ波源を持つから単純化

して図9のようなモデルを想定する。ほぼ直方体形状で窓のないエレベータ内に携帯電話を使用する人が二人居る。複数の共振モードが形成されると仮定する。これは、反射の繰り返しが同相合成されてベクトル和が存在する条件であり、オーバサイズキャビティ内に複数共振モードが縮退して存在する状況に等価である。実世界で成立するとは限らないが、多くの反射が同時に存在するような仮定の最大電磁界励起(Excitation)条件にはなる。図で中心の黄色空間が実体で、外側の青色空間は、全て見かけの波源(鏡像)である。さて図10は人体を無視したモデルであり、本堂の計算モデルに相当する。中心の黄色の空間には、それを取り囲む青色空間の携帯電話が一齐に電波を放射して強力な電磁界が形成されるように見える。さて、図9のモデルの場合には多くの鏡像人体も存在し、それらが折り重なって外側から中心に向かう電波の邪魔をするから、遠くの青色携帯からの電波は殆ど黄色空間に到達しない。回折効果は小さくて無視できるだろう。すなわち人体の吸収効果を本質的に無視してはいけない。

このような知識を得たうえで満員電車モデルを考える。さらに乱暴ではあるが、電車の壁を取り払い無限遠まで携帯電話使用者が存在するような図11の2次元モデルを考えよう。これは最大電磁界を与える仮想的な最悪モデルであり、クリップスの用いた「オルバースのパラドックスモデル」と同様になる。またこれは「無限鏡(周囲を全て鏡で囲んだ空間)」の命題とも共通する内容を含む。興味のある方はインターネットで検索されると良い。無限鏡空間での中心エネルギーが無限に強くなりそうだが、実際にはそうならないことの原因が色々書いてある。



中心の黄色空間が実空間、周囲の全ての青色空間は鏡像(反射波の仮想的波源)

図9 本堂のモデル(図7)の別の見方

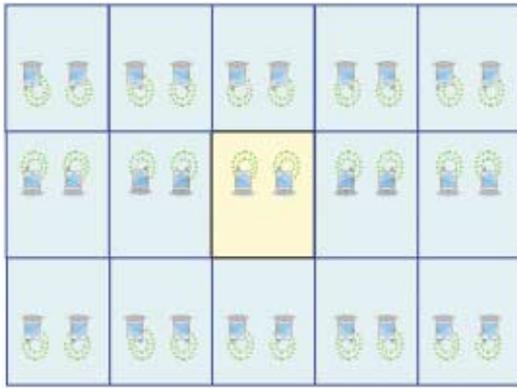


図10 人体を無視したモデル

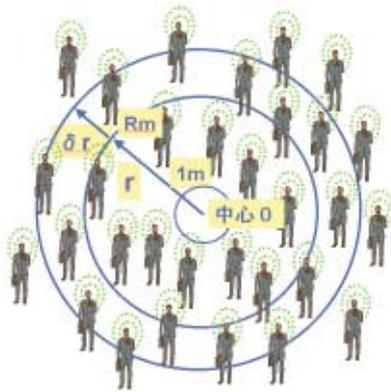


図11 満員電車内電磁界のオルバース近似モデル(2次元)

さて図11のモデルについてクリップスの解析を借用する。モデルの条件は、
 ・多くの携帯電話（出力P[W]/台）が均一分布T[台/m²]で中心0を取り囲む、
 ・中心から半径1m以内に携帯電話はない、
 ・人体の吸収効果は無視する（図10と同様）、
 ・簡単のため、各電波は全空間に一樣放射され、それらの位相関係を無視して、距離r[m]の携帯電話電波はr²に逆比例して中心0で単純に電力合成する、となる。

このとき、δrの帯状空間内の携帯電話数は2πrδrTであるから、中心0で観測される電力束密度P_R[W/m²]は次式で求められる。

$$P_R = aPT \int_1^R \frac{1}{r} dr = aPT \ln(R) \dots (1)$$

ここで、aは比例係数である。これから当然ではあるが、Rの広がりによって急激にP_Rは∞に向かって増大する。本当だろうか？ 正に「オルバースのパラドックス」と同様の疑問を投げかける。

我々工学者、特に電波伝搬の専門家であればμ波送受信間の伝搬経路に遮蔽物が存在すると吸収・散乱によって伝搬損失が急激に増大することを知っている。電波の直進経路に人体が存在すると波源が直

近であれば減衰量は極めて大きい。これは経験則である。満員電車を想定するから、人体の空間密度は高く、殆ど隙間のない人体壁により5dB/m⇒e⁻¹/m程度の減衰が生ずると仮定する。このとき、式(1)は次のように変形する。すなわち、

$$P_R = aPT \int_1^R \frac{e^{-r}}{r} dr \dots (2)$$

としてガンマ関数の一種が得られる。

そこで式(1)と(2)について、同一の比例係数を省略して計算した結果(P_{Rn})を図12に示す。その違いは明らかであり、人体による減衰を考慮した場合には、どんなに遠くまで携帯電話があってもある距離以上からの電力増大の寄与はゼロに等しい。つまり、遠くの鏡像波源は無いのも同様であり、これは図7のモデルでは何回目か以降の反射のレベルは殆どゼロということと等価である。我々が中心0に位置して外側を見ることを想像すれば、折り重なった携帯電話使用者の壁にさえぎられて後ろの方の携帯電話は視界には入ってこない。そのようなメカニズムが実世界であると理解できる。

結局、電車内などで多くの携帯電話が使用される場合（均一分布）に図8の予測は成立しないことが分かる。

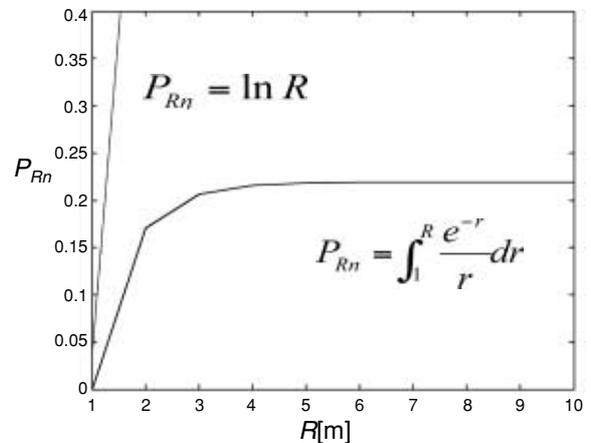


図12 中心0における電力密度推定例

ところで図9であるが、実世界を考えるといささか怪しいモデルである。電波の発射源は、中心の2台の携帯電話でありその総合出力が2Wと仮定しよう。携帯電話が電波を放射し始めてからある時間経過した電磁界分布が一定となる定常状態では、中心にいる二人が受ける最大電力は2Wを決して超えない。これはエネルギー保存則から明らかである。では図10ではどうか？ 2つの携帯電話は1秒間に2Jのエネルギーしか放射できないから、もし閉空間内に例え

ば10Jの電磁エネルギーが蓄積するならば、その定常状態までどんなに短くても5秒の時間が掛かる。さて現実世界ではどうであろうか？ 電車やエレベータ程度の空間なら、あっという間（高々マイクロSecオーダー？）に定常状態、すなわち2W出力に対して閉空間内の損失も2Wとなる電力平衡状態が成立するだろう。ところが閉空間内は無損失を仮定しているから2W出力には行き場が無くなる。とすると閉空間内部に連続して電力が蓄積され続けるのだろうか？ それは電波が永遠に空間内を駆け巡っている状態、すなわち、無限長線路（無限の空間）と等価だから、結局閉空間ではなくなる？

さて本当のところはこうだ。携帯電話が電波発射をスタートすると直ぐに定常状態になり、携帯電話のアンテナからは電波が発射できなくなる。アンテナ入力インピーダンスが純虚数となって、アンプ出力は全て反射されてしまう。これは閉空間が無損失だからであり、閉空間内に蓄積されるエネルギーは電波発射スタートから定常状態までの間に供給されるから、数マイクロSec.×2W[J]程度である。これは図10のような無限に続く鏡像携帯電話が存在しないことを意味する。パラドックスである。

以上の議論は禅問答のようであり、十分に納得できない読者もいるだろう。そこで事実を明確に理解できる以下のような実モデルによる検討が有効となる。

5. 実車輻による実験

前項までの議論は大雑把であり、実態を正確に把握するために実験測定が必須である。図13は、京浜急行電鉄株式会社の協力を得て電波産業会電磁環境委員会が2003年夏に実施した実験調査の一例である⁽⁷⁾。代表的な通勤電車内に送信用スリーブアンテナを床面から144cmの高さに垂直偏波で設置し、高さ120cm（PMの位置）の受信アンテナ（3軸無指向性）を車輻の縦方向にスキャンして電界強度の1次元分布を測定した。周波数は800MHz帯で送信出力は1Wである。図中赤線に送信アンテナが位置し、車内見取り図の緑線が受信スキャン経路を示す。青色部分は人体の配置位置（成人10名）であり、2名は携帯電話使用者として送信アンテナ近くに、8名は座席に配置した。測定結果において、黄色線と青色線はそれぞれ無人の場合と10名配置した場合の電界分布を示す。さらにピンク色の線は自由空間モデル（距離の二乗減衰）による計算例である。

黄色線、青色線ともに全測定区間においてピンク

色線より高い値となるが、平均的には自由空間での二乗特性より緩やかに距離減衰する。人体有無の違いは大きく（約10dB）、人体の吸収遮蔽効果は無視できないことが確認できる。

この実験結果は、PM-EMI障害を起し得るレベルが生ずることを示唆しない⁽⁷⁾。しかし、複数の携帯電話が同時に電波を発射する、あるいは多くの乗客が居る場合などの電磁界分布の詳細評価については測定が困難であるため、以下に述べる大規模数値解析の適用が有効となる。

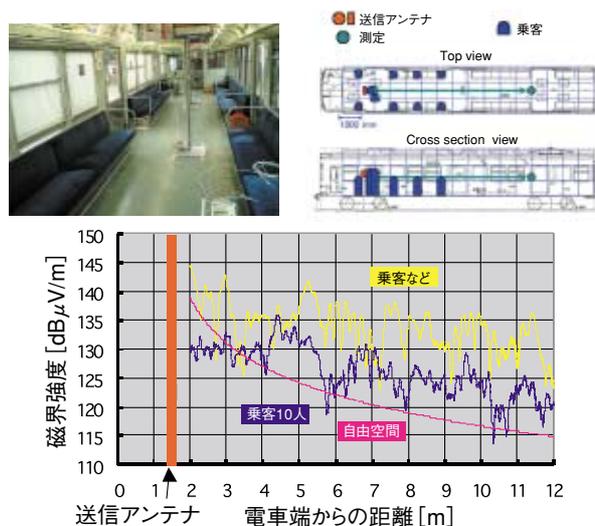


図13 通勤電車内での電界強度測定例（800MHz帯）

6. 大規模数値解析とPM-EMIリスク評価

近年の計算機性能の向上は、 μ 波帯での大規模で複雑な電磁界解析を可能にした。各種解析法のうち有限時間領域差分法（FDTD法）が、複雑な空間を扱えること及び結果の正確性から優れている。解析対象の空間（プロブレムスペース）を 1cm^3 単位の微小立方体セルに分割してマクスウェル方程式の1次差分近似計算を行う。電車1輻の内部空間をシミュレートするために膨大なメモリの計算処理が必要でありスーパーコンピュータを用いる。図14は車輻と擬似人体の数値モデル例を示す。電磁界の照射に対して人体が散乱・反射する成分を解析することを目的とするため、擬似人体は内臓などの体内組織までシミュレートする必要はなく全身で均一な複素誘電率で近似する。車輻の壁は完全導体とし座席は実材料の電気特性で近似する。

図15は800MHz帯の解析結果例（1次元分布）を同一放射条件の実測値と比較して示す。青色線と赤色線がそれぞれ計算値と測定値であり、両者の定在波位置は若干ずれるが、高レベル値と減衰傾斜は良

く一致するので、実測確認の困難な更に複雑なモデルの計算推定も妥当であると判断できる。モデル近似の不完全性から、定在波位置が若干ずれるのは仕方ない。この誤差はEMIリスクを予測することに関して大きな影響を与えない。

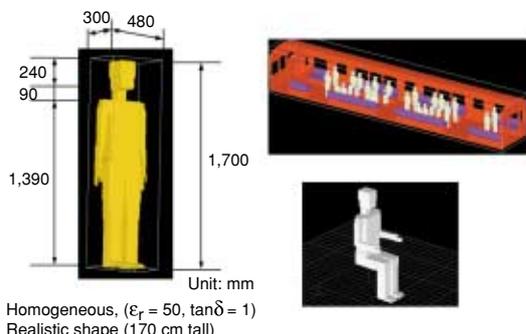


図14 FDTD解析用大規模数値計算モデルのポンチ図例

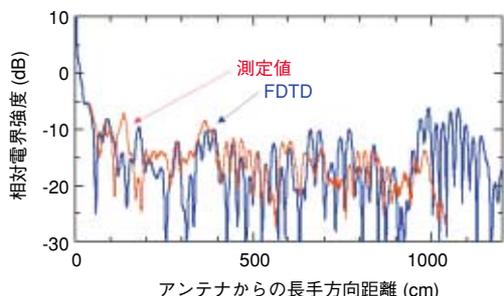


図15 FDTD計算結果と実測値の比較(800MHz,無人)

さて、図16は800MHz帯、人体なし、1アンテナで床から120cmの高さにおける水平面内電界強度分布の解析結果例である。赤、緑、青の色順で電界強度の違いを表す。赤色部分には送信アンテナが位置する(近傍界領域で強度が強い)。重要な観点はPM-EMIを起こすかもしれない強いホットスポット領域がどの程度広く電車内に存在するかであるが、このままでは強弱が入り乱れて判別がつかない。そこで、電界強度をヒストグラム表示することを考える。図に示すように空間分布のデータ(1cm³セル毎の数値)を同じ電界強度で寄せ集めてグラフ化することで、綺麗な単峰特性が得られる。次に、EMI障害発生閾値については次のように決定する。

図4のファントムを含む実験系で最大干渉距離(この距離以上アンテナから離れば傷害は起きない)を検出している。そこでこの距離での電界強度値をPM-EMI発生の閾値0dBとしてヒストグラムを表示する。但し、アンテナから半径22cm以内の領域のデータを除く(安全距離の遵守により、その領域にPMが入ることはないため)。このヒストグラムは電車内でペースメーカー装着者が位置を様々に変えたときにばく露する電界の全てを含み、0dBを超える数値

があれば、安全距離を越える空間にPM-EMIを起し得る強度の電界が形成されると判断される。

大規模計算は、測定が困難な満員時などの複雑な電波環境のリスク評価を可能にする。図17・18は、800MHz携帯電話使用者が1名及び5名の場合の解析結果例である。0dB点は自由空間アンテナから15cmでの数値をとっている。5名の場合に、分布が0dBに最も接近するような最悪条件となる(人数が増えてもヒストグラムは殆ど変わらないか安全側に低下する)。両図から、電車内ではPM-EMIを起す可能性(0dBを越す面積比)は共に確認できない。最悪条件と思われる図18では、一人の場合と比較して分布が高い方に5dB程度シフトしているが、0dBまで約5dBの余裕があり問題ない。なお磁界についても同様の結果が得られている。

以上の検討では、実際とは違って、同時通話の各携帯電話電波がcoherent, 最大出力, 同時発射と仮定している。さらにPM装着者の電磁界吸収を考慮していない。このため図17・18の分布は実際より高い値を持ったもので、極めて慎重なリスク評価を与える。従って、電車内で携帯電話が使用されるとき、ずっと離れた場所にいるペースメーカー装着者がその携帯電話電波によるEMIを受けることはないかと推定できる。なお2GHz帯についても同様の検討を行って問題のないことを推定している。

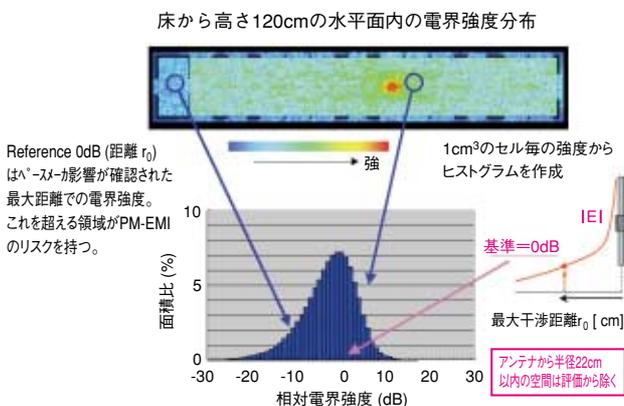


図16 複雑な電磁界分布のヒストグラム解析

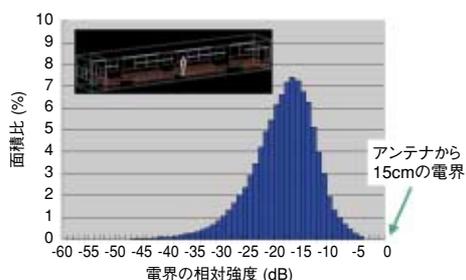


図17 電界強度の面分布ヒストグラム (f=800MHz)

電車内に携帯電話使用者が一人
床から高さ120cmの水平面内評価(アンテナから半径22cm以内を除く)

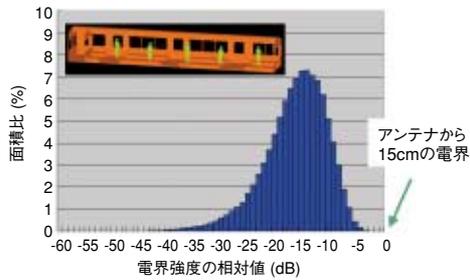


図18 電界強度の面分布ヒストグラム (f=800MHz)
電車内に携帯電話使用者が5人
床から高さ120cmの水平面内評価(アンテナから半径22cm以内を除く)

7. おわりに

目に見えない電波の影響を評価して安心できる根拠を示すために、大変な手間と時間と費用が掛かることの一例を示した。一昔前であったら、このような詳細で正確な解析を行うことは不可能であったが、最新の電磁界数値シミュレーションの適用効果は絶大である。実験測定は、電波産業会の活動の一環で行ったもので、エレベータ内閉空間の調査研究結果を近いうちに公表する予定である。また、人体防護のための電波防護指針適合性については、ホットスポットの電磁界強度ではなく全身平均SAR(比吸収率)と局所SARで評価すべきである。「オルバースのパラドックス」で述べたように閉空間内の人体は携帯電話出力以上の電力を吸収することはなく、指針は満足される。この説明は割愛するので、興味のある方は文献(8)、(9)を参照されたい。

参考文献

- (1) T. Hondou: "Rising level of public exposure to mobile phones," Journal of the Physical Society of Japan, Vol.71, pp.432-435, Feb.2002.
- (2) <http://www.icnirp.org>
- (3) 旧郵政省(現総務省)電気通信技術審議会諮問第38号答申, 電波防護指針, 平成2年。
- (4) 本堂, 坂田, 小林: "マイクロ波環境と受動曝露: 基礎物理の役割," 日本物理学会誌, 第63巻第7号, pp.537-541, 7, 2008.
- (5) 不要電波問題対策協議会(現電波環境協議会): 「～医用電気機器への電波の影響を防止するための～携帯電話等の使用に関する調査報告書」, 電波産業会, 平成8年3月及び9年4月。
- (6) S.C.Cripps.: "Ethereal Power," IEEE microwave magazine, pp.32-38, August 2007.
- (7) T. Hikage, T. Nojima, S. Watanabe, and T.

Shinozuka: "Electric-Field Distribution Estimation in a Train Carriage Due to Cellular Radios in order to Assess the Implantable Cardiac Pacemaker EMI in Semi-Echoic Environments," IEICE Trans. Commun., Vol. E88-B, No. 8, pp. 3281-3286, Aug. 2005.

- (8) A. Kramer, J. Fröhlich and N. Kuster: "Towards Danger of Mobile Phones in Planes, Trains Cars and Elevators," Journal of the Physical Society of Japan, Vol.71, 3100, Dec. 2002.
- (9) A. Toropainen: "Brief Communication Human Exposure by Mobile Phones in Enclosed Areas," Bioelectromagnetics, Vol.24, No.1, 63-65, Jan. 2003.