

電車/エレベータ内における携帯電話電波による 心臓ペースメーカー電磁干渉の推定

野島俊雄

北海道大学 大学院情報科学研究科

1. はじめに

電車あるいはエレベータのような電波が多重反射する空間内での携帯電話電波が乗客の心臓ペースメーカーに与える電磁障害の可能性について様々な議論が続いている。

現在利用されている携帯電話と心臓ペースメーカーについては、旧不要電波問題対策協議会（旧不要協）によって「携帯電話を安全に利用するための指針」が策定公表され、植込み型心臓ペースメーカー（除細動器を含む）に対して、22cm 程度以上という具体的安全距離が示されている[1]。その後も、新たな無線機器や医用機器について継続実施され、現時点における指針の妥当性と必要性が再確認されている[2]。

一方で、多重反射空間においては携帯電話位置と無関係に、すなわち離れた場所で局所的に強い電磁界領域（ホットスポット）が形成され、旧不要協の安全距離指針が成立しない懸念があるとの主張がある[3、4]。この根拠としてこれら文献の著者等は、人体による電波吸収・散逸を無視した仮想空間の電磁界評価結果を示しているが、共振性の空間で本来在るべき内部損失を無視すると、電磁界強度が実際とかけ離れた過大な値となり、無視できない誤差を生じる。これは特に心臓ペースメーカー電磁干渉評価の正確性を損なう原因となる。

本稿では、この電磁干渉（EMI）リスクを電車車両およびエレベータ内に人体が存在するような実際的な電波環境において定量的に評価するために、電波産業会電磁環境委員会が行った研究調査の概要と検討結果を解説する。代表的な通勤電

車およびエレベータを対象に、高精度な計算モデルを用いた大規模数値解析法を開発適用して評価を可能にしている。さらに、その有効性を実験結果との比較により判断している。

2. 検討対象・目的および条件

検討すべき対象は、金属などの壁や天井で囲まれた空間で携帯電話が使用され、電波の反射波が多数存在するような電磁環境である。そのような環境で、携帯電話利用者から離れた所に居るペースメーカー装着者に与える EMI リスクを評価することを目的とする。ただし、電磁的遮蔽性が極めて高く、内部に人体などの損失物体がなく空洞共振器と同様の性質を示すような特殊な閉空間（例えば金属コンテナ内など）は実際的でないため除外する。周波数がマイクロ波帯であるから、正確な解析・評価を行うために cm 以下の精度で検討対象をモデル化することが必要となる。さらに人体は、携帯電話の放射効率・パターンのみならず心臓ペースメーカー EMI に対して大きく影響するから、この存在を無視してはならない。従って、ここでは代表的なモデルを用いて実験測定を行い、また実際の形状・特性に忠実な詳細パラメータによる大規模 FDTD 解析を実行することとした[5]。

携帯電話電波の周波数や変調は一般にシステムに依って異なり、出力も送信出力制御により時々刻々変化する。また、オペレータとシステムが同じ複数携帯（n 台）の同時利用について、TDMA の場合には電磁界は単純に n 倍にはならない。また CDMA の場合にも、同様に単純ではない。従って、実際の通信状況を実験測定や数値解析に反映させるのは困難なため、こ

ここでは周波数・位相が一致する連続波を仮定し用いる。この仮想条件は過大側の評価結果を与える。

3. 電車内およびエレベータにおけるペースメーカー電磁干渉のリスク評価

基本的な EMI リスク評価の流れを図 1 に示す。まず初めに車輛あるいはエレベータ内電波伝搬について実験用と数値解析用の基本モデルを構成する。基本モデルとは測定の誤差あるいは不確定要因をできるだけ小さくするため、アンテナや乗客数等の条件を単純化したモデルのことである。実験では、標準アンテナにより携帯電話からの電波発射を模擬し、評価対象とする空間内の電磁界分布を測定する。同じモデルについて大型計算機を用いた FDTD 法による数値解析を行う。両者の結果を比較して数値解析法の有効性を評価する。次に、多数の乗客の存在、複数の携帯電話使用などの実際的で複雑なモデルについて、有効性を評価した大規模 FDTD 解析法を用いて 3 次元の電磁界分布推定を行う。最終的に、心臓ペースメーカー EMI に関係する 2 次元面内の電磁界強度分布から相対強度を変数とするヒストグラムを作成する。これは、電磁界強度が空間内で不規則に分布するため、EMI リスクを生じるような高いレベルの領域（ホットスポット）がどの程度の割合で生じ得るかを評価する方法として導入している。ただし、送信アンテナとその周囲領域（アンテナから 22cm 以内）や人体の占める部分はヒストグラムの評価に含めていない。

3. 1 電車内電磁界分布

検討では、代表的な通勤電車である京浜急行電鉄株式会社の 1000 系を用いた。携帯電話の位置や数の違い、乗客の分布など様々な車内条件での 3 次元電磁界分布を測定することは実際上不可能であり、計算シミュレーションが唯一の評価法となる。ただし、このように大きな空間で高精度な解析を実行するには膨大な計算機資源が必要となる。そこで、スーパー

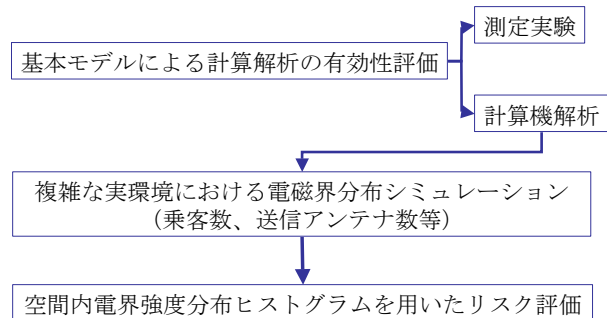


図 1. ペースメーカー EMI リスク評価の流れ

コンピュータによる並列計算処理を適用した。

一例として、側頭部にダイポールアンテナ（800MHz 帯擬似携帯電話）を位置させた擬似人体（均一媒質）が一体、電車のほぼ中心に立って電波を発射する最も基本的な状況を想定した。電車内に形成される電界分布の計算推定結果を図 2 に示す。ここでは三次元分布、二次元分布例を示している。2 次元分布は床面から高さ 1580mm での水平面内の分布図であり、この高さは立位の人体に植え込まれた心臓ペースメーカー本体部が交叉し得る電界に一致する。図から面内に広くホットスポットが形成されることが分かる。この電磁界分布で心臓ペースメーカーのイミュニティレベルを超える場所が、ペースメーカー EMI を起す可能性を持つと仮定する。このような強さの領域の面積（面内の割合）を導出すれば、車内電波環境に対して EMI 発生リスクの評価を行うことができる。

なお数値解析の妥当性は基本モデルの測定結果との比較により確認している[5, 6]。電車内電磁界分布測定の様子を図 3 に示す。

3. 2 エレベータ内電磁界分布

一般的なエレベータとして、大型の 24 人乗（かご内容積：約 7.8m³）および小型の 9 人乗（かご内容積：約 3.8m³）を用いた。エレベータの壁面は金属で構成され、天井面のみ外部へ開放された間隙がある。エレベータ内において携帯電話を使用した場合の EMI リスクを評価する

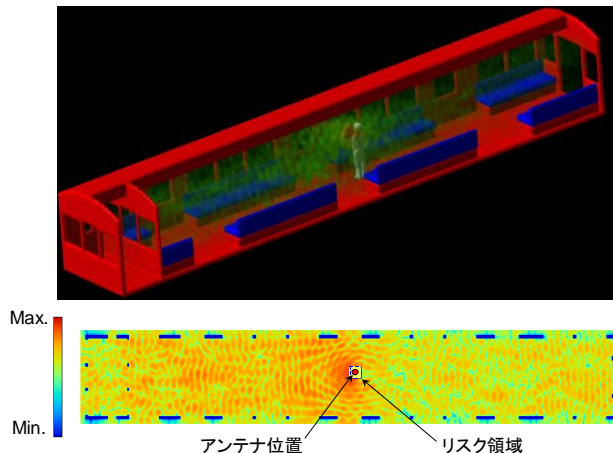


図 2. 電車内電界強度分布の解析結果例(擬似人体：1 体，800 MHz 帯携帯電話：1 台)

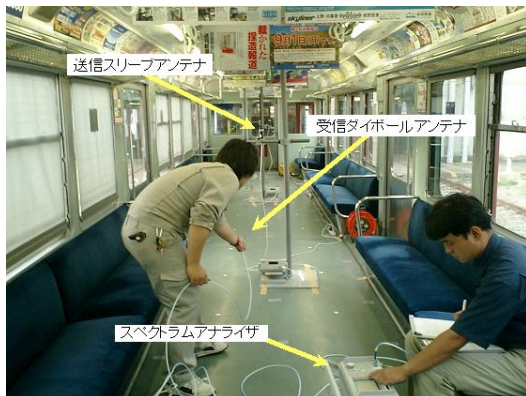


図 3. 電車車輦内の測定の例

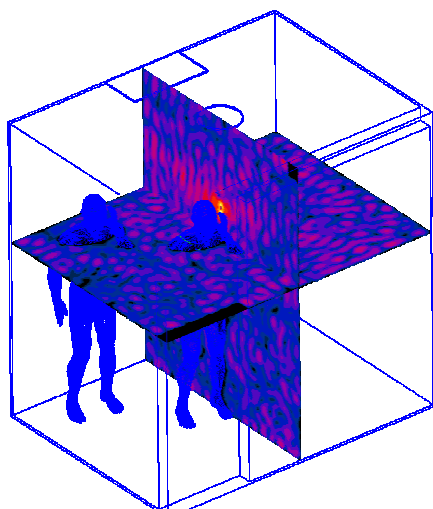


図 4. エレベータ内電界強度分布の解析結果例(擬似人体：2 体，2 GHz 帯携帯電話：1 台)

ため、かご内部に擬似人体(均一媒質)および擬似携帯電話(800MHz 帯、1.5GHz 帯および 2GHz 帯)を 1 から複数設置した場合について、電車と同様の手法で検討を行っている。

図 4 に計算推定結果の一例を示す。24 人乗りのエレベータ内に 2 体の擬似人体を配し、うち 1 体の側頭部にダイポールアンテナ(擬似携帯電話)を位置させた。電波の周波数は 2GHz である。同図では、送信アンテナを含む垂直面および立位人体の胸部高さ位置における水平面内の二次元電界強度分布を示している。

3. 3 EMI リスク評価

計算推定に依り得た電磁界分布から作成したヒストグラムを用いてペースメーカー EMI のリスク評価を行う。これは、携帯電話電波は評価対象の空間内で複雑な電磁界分布を形成するが、そのホットスポットでの強度が“実験確認された最小の EMI 強度”を超える可能性があるか判定することで行う。判定基準として、旧不要協及び総務省での実験調査結果を用いることができる。例として、図 2 および図 4 に示した電車とエレベータ内の電界強度値によるヒストグラムを作成して図 5 および図 6 にそれぞれ示す。縦軸は車両あるいはエレベータ内の水平面積に対して、ある電界強度値を持つ微小領域(1×1×1cm³)の数の和から求めた面積の%比である。また、横軸は相対強度であり、0 dB は各周波数帯においてペースメーカー EMI が起こり得る最小強度としている。図 5 及び 6 のヒストグラムでは、これらの値が 0 dB として与えられているが、評価した全ての電界分布において 0 dB を超えるような電磁界領域、すなわちそのような強度のホットスポットは生じていない。

人体および携帯電話の数、周波数帯、さらに電車内あるいはエレベータ内におけるそれら設置位置を変更した複数の場合について同様の評価を行った。複数個の携帯電話を想定したモデルでは、各ア

ンテナが完全にコヒーレント、同一偏波、同一高さで電波を発射すると仮定している。しかし、先にも述べたように実環境でこのような条件となることはないので、この推定で得た電界強度分布は実際と比較して過大評価になる。

これら検討から、送信アンテナからの直接放射によるリスク領域を除いた空間において、携帯電話が複数台使用され、多重反射が生じたとしても、安全指針を遵守する限りペースメーカー EMI が起きる恐れは無いと推定されている。

4. まとめ

携帯電話電波が多重反射するような空間内での複雑な電磁界分布とその心臓ペースメーカー EMI リスク評価をする場合、大規模 FDTD 解析法が有効である。

携帯電話保持者や他の乗客による電波吸収効果を適切に評価することが重要であり、携帯電話電波発射について 22cm の距離指針が一般的に成立し、その距離を外れる空間では EMI が生じるリスクがないであろうことを確認した。

筑波エクスプレス車内での無線 LAN サービスや国際線航空機内での携帯電話サービスの開始など、多重反射波の存在する比較的狭い空間で無線通信の積極的な利用が進展する状況にある。今後のユビキタス社会ではさらに多くの周波数、様々な電波が利用されるため、このような電波環境での安全性や EMC をより確実なものにしていくことが重要である。

参考文献

- [1] 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
- [2] 総務省：「電波の医用機器等への影響に関する調査研究報告書」，電波産業会，平成 14 年，17 年，18 年
- [3] T. Hondou: “Rising level of public exposure to mobile phones,” Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 71,

pp. 432-435, Feb. 2002

- [4] T. Hondou: “Physical Validity of Assumptions for Public Exposure to Mobile Phones,” Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 71, pp. 3101-3102, Dec. 2002
- [5] 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
- [6] 野島俊雄, “電車内での携帯電話電波による心臓ペースメーカーへの影響”, ミマツコーポレーション, 電磁環境工学情報 EMC, no. 222, pp. 57-68, Oct. 2006

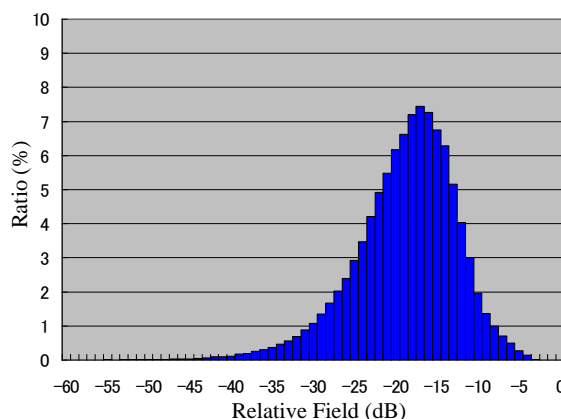


図 5. 電車内ペースメーカー EMI 評価例(携帯電話周波数 800MHz, 乗客数 1 人, 送信アンテナ数 1 台)

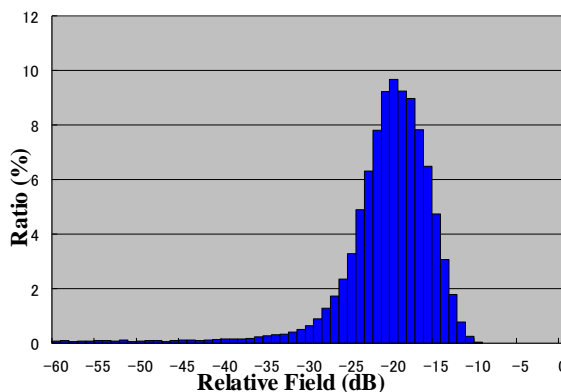


図 6. エレベータ内ペースメーカー EMI 評価例(携帯電話周波数 2GHz, 乗客数 2 人, 送信アンテナ数 1 台)