

鉄道車両の低周波磁界の評価方法

浮上式鉄道技術研究部 電磁システム研究室
主任研究員 加藤 佳仁

1. はじめに

近年、低周波磁界に関する規制、および規格等に関する動きが活発になっている。鉄道においては、2012年に地上電気設備が発する商用周波数磁界に対しての規制が導入された。

低周波磁界に関しては、これまでに測定手法や磁気シールド等のノウハウを浮上式鉄道に関連して蓄積してきた。そこで、このような技術を応用して、在来方式鉄道車両における低周波磁界の評価法、推定法等の検討を現在行っている。ここでは、国内外の動向を解説するとともに、規格に基づいた低周波磁界の測定方法、磁気シールドや車両構体構造を考慮して構築した鉄道車両磁界の解析モデル等について紹介する。

2. 低周波磁界に関する規格

まず、低周波磁界とはどのような周波数の磁界かということであるが、これに対しては明確な定義はない。ただ、後述する国内外の測定に関する規格類が対象周波数を「直流～20kHz」と定めていることから、これがひとつの目安となると考えられる(図1)。

また現在、電磁界の人体への影響に関するガイドラインとして国際的な標準となっているのが、ICNIRP(国際非電離放射線防護委員会)のガイドラインである。このICNIRPが定める生体防護指針は、科学的裏付けのある電磁界の短期的影響に着目して制定されたものである(図2)。これは、生体内の電界強度で表記される基本制限と、基本制限に適合しているかどうかを簡便に判定するための参考レベル(これは当該場所の電磁界の値で表される)の2段階に分かれている。まず簡便に測定できる空間の電磁界を測定し、参考レベルを満足するかどうかを判定する。参考レベルを満足しない場合にのみ、次の基本制限を満足するかどうかの判定を行うというものである(図3)。

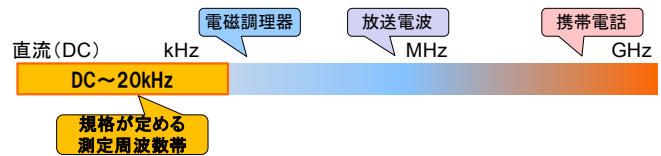


図1 電磁界の周波数イメージ

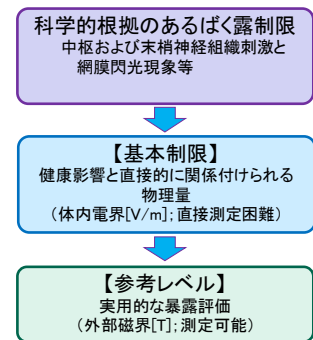


図2 ICNIRP 生体防護指針

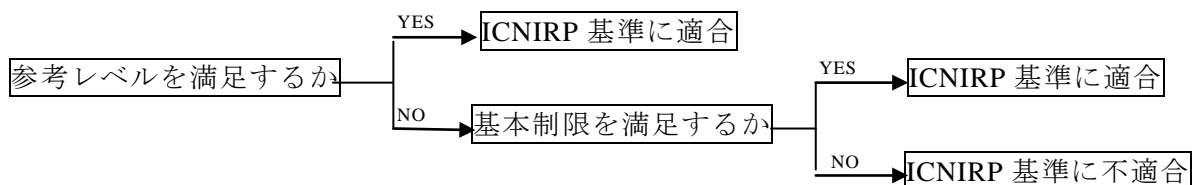


図3 ICNIRP 生体防護指針への適合・不適合判定手続き

この ICNIRP のガイドラインのうち、1Hz～100kHz の周波数範囲のガイドラインについては 2010 年に改定が行われ、参考レベルも改定されている。図 4 に現在の ICNIRP 参考レベルを示す。鉄道地上電気設備に対する規制値も、この ICNIRP の参考レベルの商用周波数における値となっている(200 μ T)。改定により、値としては全体的に緩和の方向となったが(以前は商用周波数で 100 μ T)、これは後述するような数値人体モデル等を使用した計算技術が向上したことにより、参考レベルの算出の際に用いる安全係数等が見直されたためである。

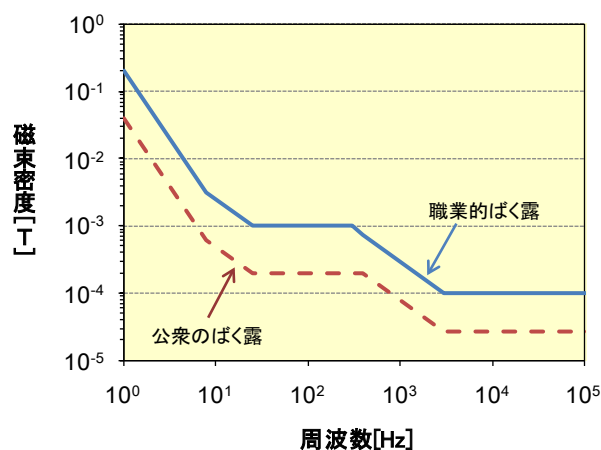


図 4 ICNIRP ガイドライン参考レベル

3. 低周波磁界の測定方法

一般鉄道車内における低周波磁界の規制値は国内には存在しないが、測定方法に関する規格が近年、国内外で策定、改定されている。2008 年に欧州にて EN 50500 という規格が策定されて以降、2012 年には国内の測定規格である JIS E4018 が改定された(表 1)。この JIS E4018 は元々、1995 年に策定された規格であるが、その後のインバータ車両の普及、測定器類の発達等を受け、改定に至ったものである。

この改定 JIS E4018 では、従来、測定対象となる磁界が直流磁界だけだったものが、直流～20kHz と対象周波数帯が広げられた。この周波数の上限はインバータのスイッチング周波数を意識したものである。これにより、測定時にはより大容量の記録装置が必要となった。また、測定器の具体的な方式が明記された。これらの特徴を表 2 に示す。さらに、測定ポイントについても従来から見直されている。

表 1 鉄道の磁界測定方法に関する規格類

種類	名称	発行/改定	内容
欧州規格	EN 50500	2008年	鉄道設備の磁界の測定に関する規格
国際技術仕様	IEC/TS 62597	2010年	鉄道設備の磁界の測定に関する技術仕様
国内規格	JIS E4018	2012年改定 (1995年発行)	鉄道車両の磁界の測定方法に関する規格 「鉄道車両—磁界測定方法」

表 2 磁界測定器の種類

方式	特徴
フラックスゲート型	直流交流磁界とも測定可能
ホール素子型	大きな直流磁界の測定が可能
サーチコイル型	交流磁界の精密測定が可能

このような流れを受け、鉄道総研では新たな測定器の開発、導入を行った。磁界を測定する上においては、本測定の前におおまかな磁界分布を知ることにより、測定をスムーズに行うことができるので、小型、軽量タイプの磁界の可視化装置を開発した(図5)。S極、N極という極性を各点の色の違いで示し(赤と緑)、各点の明るさにより磁界の強さがわかるようになっている。また、ハンディタイプでありながら、 $\pm 0.01\text{T}$ という比較的広い範囲の磁束密度が測定可能である。



図5 開発した磁界可視化装置

また、従来は原則、直流磁界と交流磁界を別々の測定器を用いて測定を行ってきたが(ホール素子型とサーチコイル型等)、測定規格の周波数範囲を1台で満たすフラックスゲート方式の測定器も国内で開発されてきたことから、このような測定器を導入し、より迅速な測定が行える環境を整備している。

4. シミュレーション解析

4.1 磁界解析

前述したように、鉄道車両内の磁界を正しく測定するためには、規格に指定された精密な測定器を使用する必要がある。また、広範な車両内のすべての場所の磁界を測定することは困難であるため、測定点の事前調査を行う等、測定前から大きな労力を要する。そのために、鉄道車両内の磁界分布を机上で推定する手法の検討を行っている。様々な磁性体や導体が存在する鉄道車両内の磁界を計算するには、簡単な計算式等では不可能で、磁界解析が必要となる。

そこで、磁気シールドや車両構体構造を考慮した車内磁界の解析モデルを作成し、有限要素法等により磁界を計算することを試みている。磁気シールドによる磁気飽和現象を考慮した非線形解析や、交流磁界による渦電流が発生する動磁界解析といった解析が必要となる。図6に車載機器(フィルタリアクトル)を磁界源とした磁界解析例を示す。車両構体等の材質や厚みをモデルに反映した磁界解析を行うことにより、種々の条件下での磁界低減効果の推定等が可能となる。

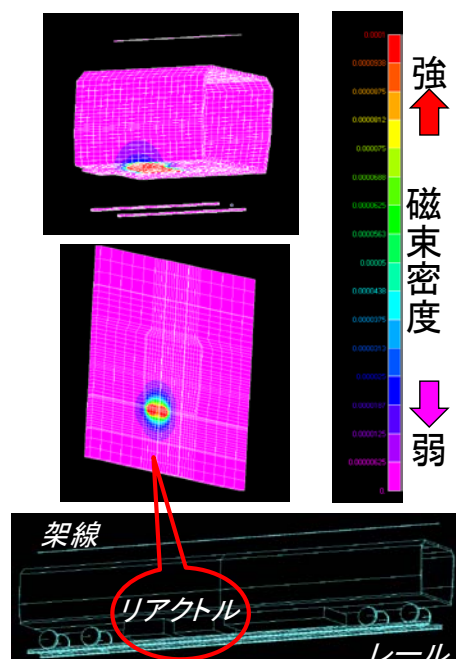


図6 磁気シールドを考慮した磁界解析の一例

4.2 ドシメトリ

ICNIRPのガイドラインによれば、参考レベルを超える磁界が確認された場合には、低周波磁界においては「基本制限」である人体内の電界強度によって評価を行うことになっている。ただ、実際に体内の電界強度を測定することは困難であるため、数値人体モデルを使用して、鉄道車両内

の人体の電界強度を計算によって求める開発を進めている。数値人体モデルには、(独)情報通信研究機構が開発した日本人モデル(成人男性モデル「TARO」、成人女性モデル「HANAKO」等)がある。これは、人体を一辺が2mmのボクセルと呼ばれる立方体で構成する数値モデルであり、成人男性モデルは、 $320 \times 160 \times 866$ 個のボクセルで構成される。そして、体内の組織ごとに各ボクセルにIDが割り当てられており、これらにさらに導電率等の電気定数を割り当てることによって、電界強度等の所望の計算が可能になる。

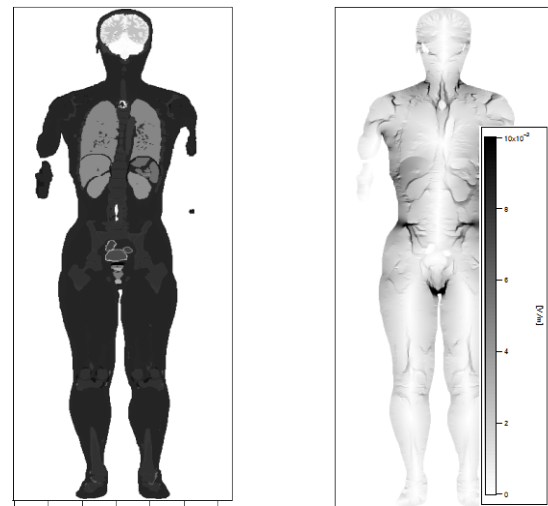
図7に、日本人男性モデルに一樣な磁界を与えた場合の解析(ドシメトリという)の一例を示す。膨大な数のボクセルに対する計算を行う必要があるために時間は要するが、このような解析を行うことにより、ICNIRPガイドラインの基本制限を満たすことができるかどうかの判定を行うことが可能となり、また、鉄道車両での様々な磁界源を想定した計算を行うことができるようになる。

5. おわりに

低周波磁界に関する規制、規格類の動向、および鉄道車両内の磁界評価に関する取組み等について紹介した。今後も国内外の動向を注視しながら、低周波磁界に関する適切な評価が行えるよう、研究を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 長谷川均：鉄道車両周辺の低周波磁界と可視化装置，R&m，Vol.20，No.10，2012
- (2) 池畑政輝，吉江幸子：鉄道の電磁界と生体の関わりを探る，RRR，2011年9月，pp.26-29
- (3) 笹川卓：鉄道における低周波電磁界環境に対するガイドラインと取り組み，鉄道総研報告，Vol.20，No.8，2006.8，pp.37-40
- (4) 水間毅：国際規格を意識した鉄道の磁界測定，電磁環境工学情報 EMC，Vol.24，No.12，2012年4月



(a) 日本人男性モデル
(体内の組織ごとのIDにより色分け)

(b) 解析例

図7 数値人体モデルによる
ドシメトリの一例