

3. 鉄道車両における磁界の人体ばく露評価のための 磁界測定への取り組み

交通システム研究領域

※長谷川 智紀

竹内 俊裕

山口 大助

工藤 希

森 裕貴

1. はじめに

電子機器の発展に伴い、現在では日常のあらゆるところで電気・電子機器が使われるようになった。

その結果、それらの機器から放射される電波雑音が他の機器に与える影響および他の機器から受ける影響や、放射される電磁界が人体へ与える影響等が注目されるようになり、近年では鉄道システムから放射される電波雑音や電磁界の影響についても取り上げられるようになった。

鉄道システムでは、変電所の設備をはじめ、車両や軌道、信号システム等あらゆるところで電気・電子機器が使用され、当然のことながらこれら機器から電波雑音や電磁界が放射される。そのような環境の中、鉄道システムから放射される電波雑音が他の機器へ影響を与えたり、他の機器からの影響を受けたりする電磁両立性（EMC：Electromagnetic Compatibility）や、電磁界（EMF：Electromagnetic Field）が人体へ与える影響について、国際規格や防護指針という形で提案されてきた。

世界保健機関（WHO：World Health Organization）では、公式見解において、「高レベルの電磁界への短期的曝露については、健康への悪影響が科学的に確立されており、政策決定者は、労働者及び一般人をこれらの影響から防護するために規定された国際的なガイドラインを採用すべき」¹⁾と記載された。国際的なガイドラインとしては、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP：International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection）のガイドラインがある。

また、磁界測定に関する国際規格及び技術仕様書の制定の動きとしては、電力設備として IEC 62110²⁾、鉄道として IEC/TS 62597³⁾が制定されている。

こうした状況を踏まえ、日本国内においても、経済産業省が 2011 年に電力設備及び送電線下における磁界基準を 2010 年に発行された ICNIRP 新基準に基づいて「電気設備に関する技術基準を定める省令」を改正して規制を実施した。

国土交通省においても、経済産業省が実施した電磁界規制を踏まえ、鉄道の変電所等設備、き電線、配電線等の電気設備について、経済産業省と同様に磁界規制を実施した。

一方、鉄道車両における磁界については、既に規制済みの電気設備と異なり、走行に伴い発生する磁界の周波数が変動する。また、鉄道車両はき電方式（交流や直流）の違いをはじめ、駆動制御方式等も各社で独自に開発してきたことから、現状では様々な形式があり、磁界の発生状況も全て異なる。

そこで、本報告では、鉄道車両における発生磁界の人体曝露評価のための磁界測定方法に関する当所の取り組みについて報告する。

2. ICNIRP のガイドラインとは

国際的な電磁界の人体曝露に関するガイドラインとしては、先に述べた ICNIRP のガイドラインがある。本ガイドラインは「時間変化する電界、磁界及び電磁界による曝露を制限するためのガイドライン（300GHz まで）」⁴⁾及び、その 1~100kHz までについて改訂を行った「ICNIRP 声明 時間変化する電界および磁界へのばく露制限に関するガイドライン（1 Hz から 100 kHz まで）」⁵⁾及び「静磁界の曝露限度値に関するガイドライン」⁶⁾から構成される。

鉄道車両から主に発生する磁界は静磁界~20kHz と言われており、図 1 及び表 1 にこれらのガイドラインにおける参考レベルと限度値を示す。ここで言う参

考レベルとは、ICNIRP では「確立された健康影響と直接的に関連づけられる物理量に基づくばく露の制限値」として定められた基本制限（EMF においては身体内電界強度）に対し、身体内電界強度は評価が困難であることから、安全係数を加えた外部の電界、磁界、接触電流の実効値およびピーク値により定めたものを参考レベルとしている。参考レベル以下であれば問題無く、参考レベルを超えたとしても基本制限を超えなければよいとされている。

これらのガイドラインでは、測定方法については記載がされていない。鉄道車両における磁界の測定方法については、後述する IEC/TS 62597 において規定されている。

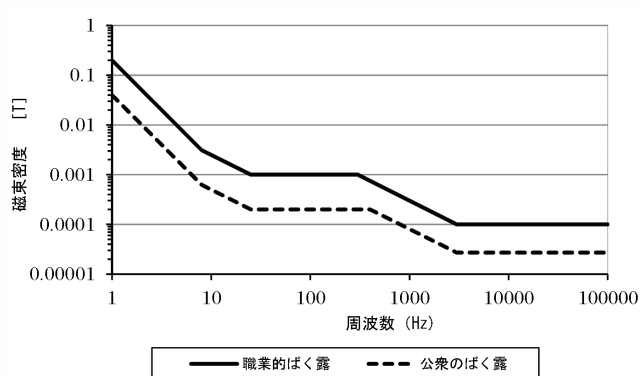


図1 1～100kHz における ICNIRP ガイドラインの参考レベル（抜粋）⁷⁾

表1 静磁界の ICNIRP ガイドラインのばく露限度値（抜粋）⁸⁾

曝露の特性	磁束密度
職業的曝露 ^{b)}	
頭部および躯体部の曝露	2T
四肢の曝露 ^{c)}	8T
一般公衆曝露 ^{d)}	
身体の任意の部分の曝露	400mT

3. IEC/TS 62597 とは

IEC/TS 62597 は、2011 年に制定された技術仕様書である。本技術仕様書は、測定器及び測定位置等が統一されていないため、国際規格として発行はせず、技術仕様書としてメンテナンスサイクルの間に再度検討を行うこととなった。技術仕様書のメンテナンスサイクルは最大3年であり、最長有効期間は6年となる。

IEC/TS 62597 における鉄道車両内における測定方法を表2及び表3に示す。

このように、2種類のセンサと2種類の測定位置が規定されている。これらを統一し、国際規格として定めるためには、国内の意見の統一が必要となる。

表2 IEC/TS 62597 に規定されている測定用プローブ

	要件
DC	・IEC 61786 に準拠したセンサ ・等方性 3 軸プローブ
AC	・IEC 61786 に準拠したセンサ ・サーチコイル方式のセンサの場合 ・3 軸プローブ ・サーチコイル面積は最大 100cm² ・測定帯域は少なくとも 5～20kHz ・フラックスゲート方式のセンサの場合 ・3 軸プローブ ・測定帯域は少なくとも DC～20kHz

表3 IEC/TS 62597 に規定されている鉄道車両内の磁界測定位置（Public Area の場合）

	要件
Surface Method	・磁界発生源に一番近い面（床下機器なら床面） ・必要に応じて上記面から垂直に 50, 100, 150cm の位置
Volume Method	・床面から高さ方向に 30, 100, 150cm の位置 ・壁側の測定の場合壁から水平方向に 30cm（又は 30cm 以上で最小の距離）

4. 当所における磁界測定のセンサ及び方法について

当所がこれまで鉄道車両内外での磁界測定を行ってきた結果、フラックスゲート方式と Surface Method による測定の組み合わせが効率的と考え、測定システムを構築した。以下に、その理由について述べる。

4. 1. フラックスゲート方式の採用について

鉄道車両から発生する磁界は、時々刻々と変化することから、磁界の DC 成分及び AC 成分の測定条件を同一にするには、DC 成分及び AC 成分を同時に測定することが望ましい。表2に示す要件を満たし、DC 成分、AC 成分を同時に測定する場合、AC 成分の測定にサーチコイルを選択すると、DC 成分を測定するために別途 DC 成分用のプローブを用意する必要がある。また、プローブを2種類用いることから、計測に必要なチャンネル数が倍となる。

一方、DC 成分及び AC 成分を同時に測定可能なフラックスゲート方式によるプローブを用いた場合、1つのプローブで必要な測定が可能となるため、チャンネル数も1プローブ分を確保すれば良いことになる。

また、測定時のプローブの設置の工数の削減にもつながる。

以上の理由から、フラックスゲート方式による測定が現実的であると考え、図2に示す磁界測定システムにより測定を行っている。



図2 当所における磁界測定システム

4. 2. Surface Method による測定について

測定位置については、表3に示す通り、IEC/TS 62597 では Surface Method と Volume Method の2通りの方法が示されている。

当所では、以下の点から Surface Method による測定が効率性の観点において望ましいと考えている。

- ・磁界発生源に一番近い位置で測定した結果が、その場における最大磁界と考えられること
- ・最大磁界の結果が基準値を下回れば、その地点から離れた位置での測定は不要であること

例えば、床面から高さ方向に複数点測定する場合は、同時に測定することが望ましく、その場合、必要な点数分のプローブが必要となる。Surface Method による測定の場合、用意された複数のプローブにより、最大磁界の位置を特定し、その位置のみを高さ方向に測定することができることから効率的に測定を行うことが可能となる。

5. 評価方法の検討

ICNIRP のガイドラインには、評価方法として下式が示されている。本方法は、複数周波数からなる磁界に対する同時曝露の評価方法であり、基準となる値との正規化値を求め、その和が1以下であることを求めている。

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{H_{R,j}} \leq 1 \quad (\text{式1})$$

H_j は周波数 j の時の磁界強度、 $H_{R,j}$ は周波数 j の時の ICNIRP ガイドラインにおける参考レベルである。

本方法は、正弦波の複数周波数からなることが条件となっているため、非正弦波を仮定とした磁界に対しては評価結果が過大になる可能性がある。また、測定された磁界のスペクトル成分が限られている場合は問題にはならないが、広帯域に広がる磁界のスペクトルに対しては、前述と同様に評価結果が過大になる可能性がある。そのため、本方法を用いる場合、フーリエ変換を行う評価時間を規定し、スペクトルの幅を定める必要がある。

一方、IEC/TS 62597 には、以下の評価方法が規定されている。

- ・DC 成分では、3 軸合成した結果を用いる
- ・AC 成分では、周波数領域で評価する場合は基準値により正規化し、10%以上を加算する

AC 成分の評価方法については、ICNIRP のガイドラインと同様の方法を探るが、加算対象のスペクトルを基準値の10%以上としていることから、ノイズ等の無用な加算が除かれる。ただし、評価時間の規定が無いことから10%以上の周波数が連続にある場合などの対応方法が不明確である。

また、AC 成分の3 軸合成は、時間領域または周波数領域において実施することとなっているが、時間領域における3 軸合成は、正確な周波数解析ができない可能性がある。

これらのことから、当所では以下に示す条件設定が評価を行う上で必要と考えている。

- ・評価時間の規定
- ・評価対象レベルの規定
- ・AC 成分の3 軸合成方法の規定

加えて、鉄道車両から発生する磁界は、時々刻々と変化することから、測定した全時間をフーリエ変換することや、ピークホールドした結果を評価する方法をとることにより、過小評価や過大評価を行う可能性がある。そのため、磁界の評価は時間毎に評価する必要があると考え、図3に示す、1秒毎に基準値の10%以上の値を式1で加算し、それを時間変化として示す方法を検討した。

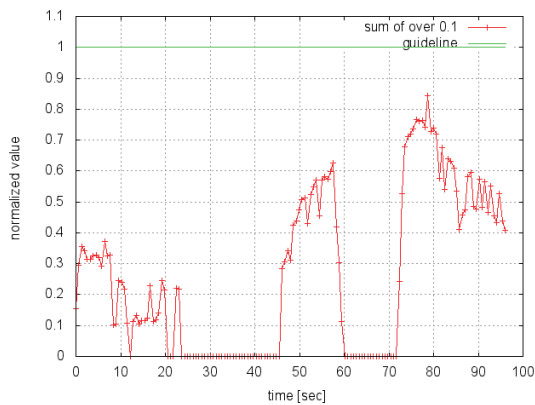


図3 加算結果の時間変化

6. 測定事例

4章で示した測定方法を用いて測定した事例を以下に示す。

図4はフラックスゲート方式、サーチコイル方式、及びホール素子方式による測定状況である。フラックスゲート方式では、このプローブのみでDC成分、AC成分を1つのセンサで測定できるが、サーチコイル方式はDC成分を測定できないので、DC成分測定用としてホール素子方式等他の方式による同時測定が必要となる。

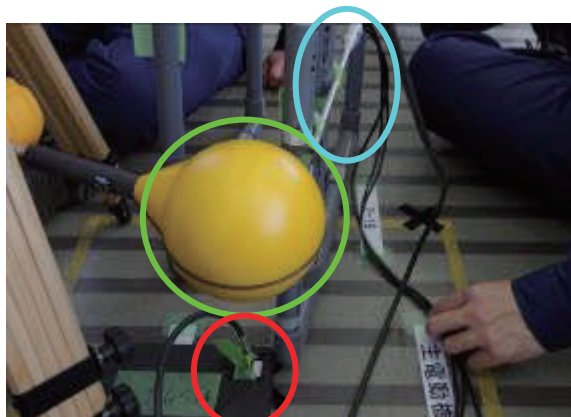


図4 フラックスゲート方式とサーチコイル方式及びホール素子による測定状況
(赤：フラックスゲート方式、緑：サーチコイル方式、水色：ホール素子方式)

また、Surface Methodを用いることにより、図5に示すように、先に、床面を複数点測定し、その後、磁界強度が高い位置において高さ方向の測定を行うことが可能となり、4.2節で述べたように測定工数の削減を図りつつ、必要箇所の測定データを確実に取得できる測定方法を実現している。

7. おわりに

鉄道車両内における磁界の人体曝露を評価するための磁界測定に関する検討を行った結果について述

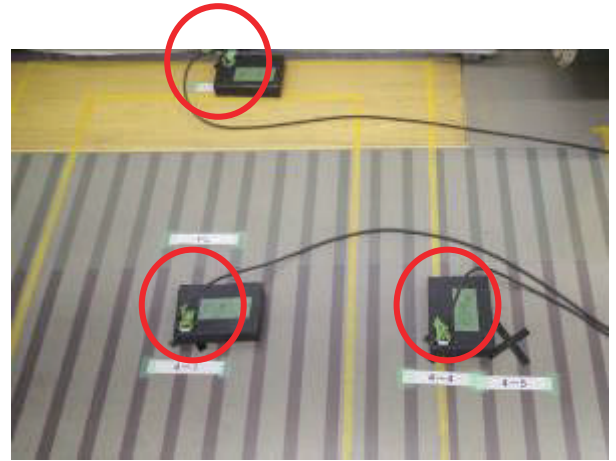


図5 Surface Method 床面測定状況
(赤丸の位置にフラックスゲート方式プローブを配置)

べた。技術仕様書として発行している IEC/TS 62597 のメンテナンスサイクルに入ることから、これらの結果を踏まえ、実態に即した測定方法が国際規格に反映されるよう検討の深度化を図り、鉄道車両の磁界測定法の国際規格化に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1) World Health Organization ファクトシート No.322 「電磁界と公衆衛生 超低周波の電界及び磁界への曝露」
- 2) IEC 62110 Ed. 1.0: "Electric and magnetic field levels generated by AC power systems - Measurement procedures with regard to public exposure"
- 3) IEC/TS 62597 Ed. 1.0: "Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure"
- 4) ICNIRP: "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.
- 5) ICNIRP: "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)", Health Physics 99(6):818-836; 2010.
- 6) ICNIRP: "Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields", Health Physics 96(4):504-514; 2009.
- 7) ICNIRP: "ICNIRP 声明 時間変化する電界および磁界へのばく露制限に関するガイドライン", Health Physics Society; 2010
- 8) ICNIRP: "静磁界の曝露限度値に関するガイドライン", Health Physics Society; 2009