

鉄道車両に関する低周波磁界の測定規格等の動向

加藤 佳仁* 笹川 卓** 池畑 政輝***

The Results of a Survey on the Measurement Standard of the Low-frequency Magnetic Fields inside the Railway Vehicles

Yoshihito KATO Takashi SASAKAWA Masateru IKEHATA

Recently, the movement toward the regulation and the standardization of low-frequency magnetic fields has accelerated. Initial regulations were applied to railway power equipment by the track wayside. Concurrently, methods to measure low-frequency magnetic fields on railway vehicles are being developed both in Japan and in other countries. In this report, we describe the results of a survey on the trend of measurement standards of the low-frequency magnetic fields inside the railway vehicles.

キーワード：低周波磁界，測定規格，国際規格，JIS，IEC

1. はじめに

世界保健機関（WHO）が2007年に磁界の健康影響評価をまとめた文書を公表して以来，低周波磁界に対する規制や規格類の制定等が行われ始めている。鉄道に関しても，地上電力設備から発生する磁界に対する規制が開始されており，それ以外の対象についても，測定のための規格整備が国内外で進んでいる。本稿では，鉄道車両に関する低周波磁界の測定規格等の動向を紹介し，その内容について概説する。

2. 低周波磁界による影響

2.1 低周波磁界について

低周波磁界がどのような周波数帯を表すかについて，明確な定義は定められていない。国内の電波法は10kHz以上について適用されていることから，それ未満を低周波と考えることもでき，また，WHO等による生体影響上の分類から100kHz以下を低周波と捉える場合もある。後述する国内外の鉄道車両に関する測定規格類においては，対象周波数を直流から20kHzまでと定めているため，本稿ではこの周波数帯を低周波磁界として扱うこととする。図1に電磁界の周波数イメージを示す。

この低周波磁界による影響については，大きく機器類への影響と生体への影響とにわけられる。近年の低周波磁界に関する規制等は主に後者を対象として制定されて

いる。以下では，この生体への影響に関する現状の知見について，WHOのリスク評価，および国際ガイドライン等を紹介する。

2.2 国際機関による健康影響評価

電磁界に関する生体への影響について，2007年にWHOが知見をとりまとめ，ファクトシート（公式見解を簡潔にまとめた文書）を公表した^{1) 2)}。それによると，100kHz未満の周波数帯では神経への刺激作用，100kHz以上の周波数帯では熱作用が発生することを科学的根拠に基づいて認めており，これらの作用を引き起こす短期的な電磁界へのばく露については，適切に防護することを勧告した。その一方，長期的な電磁界のばく露による影響に関しては，その科学的根拠は不十分であるとして，積極的な対策をとることによるリスクの低減効果は不明であるとしている。

このような電磁界による健康影響に関するばく露基準値を提案するガイドラインとして，国際的にはICNIRP（国際非電離放射線防護委員会）とIEEE（米国電気電子学会）が定めるガイドラインがある。これらのガイドラインはほぼ同様の考え方で策定されているが，後述する国内の規制はICNIRPのガイドラインを根拠としているため，これについて概説する。

ICNIRPはIRPA（国際放射線防護学会）より1992年

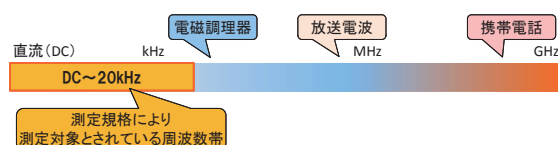


図1 電磁界の周波数イメージ

* 浮上式鉄道技術研究部 電磁システム研究室
 ** 浮上式鉄道技術研究部
 *** 人間科学研究部 生物工学研究室

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

に独立した国際機関である。WHOとも密接な関係にあり、電磁界等から生体を防護するための知見の集約や、ガイドラインの制定等を行っている。このICNIRPが制定したガイドラインは、WHOの方針である強い磁界環境下における短期的な影響からの防護を目的としており、科学的根拠が明確ではない長期的な影響は対象外となっている。

ICNIRPのガイドラインでは「基本制限」と呼ばれる電磁界ばく露の基準値を定めている。100kHz未満では神経への刺激作用を防護するために体内に誘導される電界強度、100kHz以上では熱作用を防護するために比エネルギー吸収率（SAR）をその指標としている。いずれも科学的な研究結果から示される閾値を根拠として、公衆環境、職業環境の2種類の環境に対して、それぞれの安全率を考慮した値が基準値とされている。

このように基本制限を定めているが、体内の誘導電界やSARを測定することは困難であるため、測定可能な指標として、これらの基準値となる物理量を生じさせる外部電磁界の値を算出し、周波数の関数の形で示している。これらは「参考レベル」と呼ばれ、実質的な指標となっている。

ICNIRPは1998年に300GHzまでの変動する磁界、電界、電磁界についてガイドラインを制定した。ただし、前述のWHOの評価を受け、このガイドラインのうち、1Hz～100kHzの周波数範囲については2010年に改訂が行われた³⁾。その中で、参考レベルも改訂されている。公衆環境における参考レベルを図2に示す。

この参考レベルを磁界が超過しなければ、健康に影響がないことになるが、万が一超過したとしても直ちに影響が及ぶということではなく、この場合は基本制限に立ち返り、この基準値を超過していないかを確認することとなる。前述したように、体内での誘導電界を測定することは困難であるが、ICNIRPは数値計算を用いた電界の算出方法についても触れている。その中でICNIRPは、数値モデルを活用して外部磁界にさらされた人体内部を

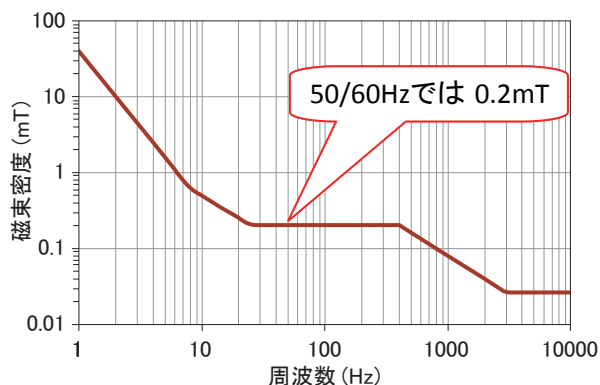


図2 ICNIRPガイドラインの参考レベル (公衆環境)

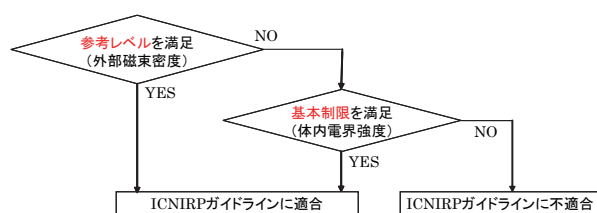


図3 ICNIRPガイドラインへの適合判定 (外部磁界の周波数帯域：1Hz～100kHz)

解析する方法を示している。このICNIRPガイドラインへの適合判定フローを図3に示す。

2.3 国内での規制

前述のWHOの勧告、およびICNIRPガイドラインの改訂等を受け、経済産業省は「電気設備に関する技術基準」について2011年に省令改正を行い、変電所、送配電線等からの磁界規制を行った。この規制では、一般公衆が立ち入らないように施設した柵等から水平方向に0.2mの地点で、200μT(商用周波数)という具体的な数値が示された。

そして、2012年に国土交通省より省令の通達(第69号)がなされ、経済産業省の省令とほぼ同様の内容が、鉄道の地上電力設備に課されることとなった。省令では、「第51条の2(電磁誘導作用による人の健康に及ぼす影響の防止)」として、電車線等の電気機器等設備から発生する商用周波数の磁界による電磁誘導作用により人の健康に影響を及ぼす恐れがないように設備を設置することとされた^{4) 5)}。この規制の対象となるのは商用周波数のみで、また、車両に関しては除外されている。また、既存設備についても除外されている。なお、当該省令本文には、具体的な磁束密度の数値が示されていないが、省令の解釈基準として200μT(商用周波数)という、経済産業省令と同様の規制値が示された。

3. 鉄道車両に関する低周波磁界の測定規格

3.1 鉄道における磁界測定規格について

電磁界の生体防護指針等に関するガイドラインは、前述したICNIRP等の保健衛生の国際専門機関によって主に定められている。その一方、測定方法についてはIEC(国際電気標準会議)等の電気技術に関する機関等によって定められている。人体防護を対象とした低周波磁界の測定全般に関する基本規格(一般に「水平規格」と呼ばれる)としては、IEC 61786(「人体ばく露を考慮した低周波磁界および電界の測定」)等がある⁶⁾。これらを元に、電力設備や家電等の個々の対象ごとに具体的な測定方法を定めた規格(一般に「垂直規格」と呼ばれる)として、IEC 62110(「交流電力システムから発生する電界及び磁

界の強さ)、IEC 62233(「家庭用電気機器及び類似機器からの人体ばく露に関する電磁界の測定方法」)等がある⁷⁾。これらを表1にまとめて示す。

鉄道における低周波磁界測定方法の規格化の作業は、このような測定規格に比べて国際的に遅れていたが、2008年に欧州において、鉄道設備に関する磁界測定手順の規格である、EN 50500が成立した⁸⁾。その後、当規格は国際規格としてIECに提案された。種々の理由から国際規格とはならなかったものの、2011年に技術仕様(TS)としてIEC/TS 62597“Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure”「鉄道環境における電子及び電気機器による磁界レベルの人体ばく露に関する測定手続き」が発行された⁹⁾。本技術仕様は、対象が地上設備と車両にわかれており、車両に関する部分では、基本的にEN 50500の内容と日本で実績のある測定手順が併記されている。当技術仕様は前述のIEC 62110、IEC 62233と同じ位置づけで、垂直規格の一種となる。

日本国内においては、1995年に鉄道車両の磁界測定方法に関する規格であるJIS E4018が制定されている。当規格は主に車載機器であるフィルタリアクトルから発生する直流磁界の測定方法が記載されていたが、その後、以下のような状況の変化があった。

- ・インバータを搭載した車両の普及(交流磁界を測定する必要性)
- ・測定技術の向上
- ・IEC/TS 62597の発行

このような理由により、JIS E4018は2012年に大きく改訂された(JIS E4018:2012)。

3.2 国内の車両に関する磁界測定規格について

改訂されたJIS E4018:2012「鉄道車両—磁界測定方法」はIEC/TS 62597の車両に関する部分の内容を大きく反映している¹⁰⁾。従来は、対象とする磁界が直流磁界のみであったが、直流から20kHzまでと測定周波数帯域が広がられている。

測定点については、「表面測定法(Surface method)」と「容積測定法(Volume method)」という2通りの方

法が示されている。表面測定法では、磁界発生源から最も近い車両内の床面または壁面等で、最大値1点を測定する手順となっている。例えば、床下の車載機器に由来する磁界を測定する場合には車載機器直上の床面1点を測定する手順となる。また、任意に空間分布を測定する際には、床面からの高さ0.5m、1.0m、1.5mを測定する。一方、容積測定法では、床面からの高さ0.3m、1.0m、1.5mの3点を測定し最大値を考慮する手順となっている。これらの関係を図4に示す。

また、鉄道車両から発生する磁界は一般の電力設備等から発生する磁界とは異なり、様々な周波数成分が含まれていると考えられる。そのため、適切な磁界センサを選んで測定を行う必要がある。低周波磁界を測定するためのセンサは多種多様なものがあり、それぞれ測定可能な周波数帯域やダイナミックレンジが異なるため、測定の目的に応じて使い分けることとなる。JIS E4018:2012では、推奨される磁界センサの方式として、以下の3方式が示されている。

- ・サーチコイルセンサ
- ・ホール素子センサ
- ・フラックスゲートセンサ

いずれも直交する3軸センサであることが必要条件となっている。

さらに、JIS E4018:2012には測定した結果に対する評価方法も示されている。直流磁界、交流磁界について、以下のように記されている。

- ・直流磁界：3軸の合成磁束密度の大きさを評価
- ・交流磁界：ICNIRPガイドラインに規定の基本的な方法、あるいはIEEE規格で規定されている時間領域で評価を行う方法による

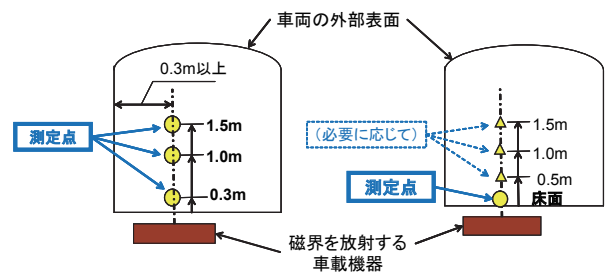


図4 JIS E4018:2012 に示される測定箇所

表1 低周波磁界の測定法に関する主な国際規格

規格番号	名称	対象
IEC 61786	Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements	測定法全般 測定器等
IEC 62233	Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure	家電
IEC 62110	Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure	電力システム

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

交流磁界については2通りの方法が示されているが、一般的にはICNIRPガイドラインによる方法で評価されることが多いため、以下にこの評価方法を示す。

ICNIRPガイドラインによると、複数の周波数の磁界による評価は以下の式(1)によることになっている。

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{20\text{kHz}} \frac{B_i}{B_{L,i}} \leq 1 \quad \dots \dots \quad (1)$$

B_i は周波数 i での磁束密度, $B_{L,i}$ は周波数 i での磁束密度のICNIRP参考レベルである。各周波数における参考レベルに対する測定値の比を全周波数帯で加算して、参考レベルを超えることがないか(1を超えないか)を評価するというものである。

以下ではより具体的な交流磁界の評価手順を示す。まず、3軸の測定結果それぞれに対して周波数解析を行う必要がある。交流磁界では直流磁界の評価方法と同様の合成磁束密度では正しい評価を行うことができないからである。また、鉄道車両内での低周波磁界は周波数も強度も変動するのが特徴と言えるが、特に磁界の強度は運転状況によって大きく変化するため、測定した全時間帯で周波数解析を行うことは全体の結果を平均化してしまうことになり、過小評価となる。そこで、ある時間間隔ごとに周波数解析を行うことになるが、JIS E4018:2012ではこの推奨時間を0.5秒としている。この時間単位で周波数解析を行い、さらに、3軸それぞれの結果を周波数ごとに合成して合成磁束密度を算出する。周波数 i での合成磁束密度を B_i として、式(1)により20kHzまで加算して評価する。

測定した全時間帯に対して以上のような評価を0.5秒ごとに実施する。なお、JIS E4018:2012の推奨事項として、「スペクトル成分の加算:限界値(ICNIRP参考レベル)の10%の閾値を下回るスペクトルは考慮しない。」とされていることから、各周波数における比が0.1未満となる値は加算しない。以上の計算結果が全時間帯で1以下であれば、ガイドラインに適合するという評価となる。

3.3 車両に関する測定規格類の今後について

IECの国際規格類は、発行してから6年を目途に見直すことが義務付けられている。前述した国土交通省令の解釈基準や国内規格に反映されているIEC/TS 62597は、現時点では技術仕様であるが、この状態は一時的なものであり、永続させることはできない。したがって、次回の見直しの際には、内容を見直すとともに、国際規格化を進めるかどうか等、その方向性を決める必要がある。実際、2015年度にこのための審議グループが設立されており、現在は国際規格化を進める方向で議論が進められているところである。今回の見直しに伴い、測定方法

等も変更となる可能性があるため、注意が必要である。

4. おわりに

鉄道車両に関する低周波磁界の測定規格については、国際的な低周波磁界に対する取り組みを受けて、ここまでのおよそ10年間で大きく整備が進められた。さらに、まだ過渡的な状況でもあると言えるため、引き続き注視する必要があると考えられる。

このような状況下で、鉄道総研ではこの測定規格に沿った評価システムや、磁界の可視化装置の開発等を行っている。安全・安心な鉄道システム形成の一助とされるよう、今後も研究開発を行っていく所存である。

文 献

- 1) WHO: Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency Fields, 2007.
- 2) 池畑政輝: 磁界による健康影響とその防護指針の現状, 鉄道総研報告, Vol.30, No.9, pp.47-52, 2016
- 3) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz), Health Physics, Vol. 99, 818-836, 2010.
- 4) 国土交通省通達: 鉄道の電気設備からの電磁誘導作用による公衆の健康影響防止に関する規定, 鉄道に関する技術上の基準を定める省令(平成十三年十二月二十五日国土交通省令第百五十一号)の一部改正 第五十一条の二, 2012
- 5) 長谷川, 加藤, 池畑, 仲村, 中村, 重枝: 鉄道関連における電磁界規制の動向, 鉄道総研報告, Vol. 26, No.5, 2012
- 6) IEC 61786: "Measurement of Low-Frequency Magnetic and Electric Fields with Regard to Exposure of Human Beings - Special Requirements for Instruments and Guidance for Measurements," 1998.
- 7) 富田, 多気: 生体影響のための電磁場計測(TC106)の経緯, 電気学会 EMC 研究会資料, EMC-02-5, pp.25-28, 2002
- 8) EN 50500(2008): "Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure," 2008.
- 9) IEC/TS 62597 ed1.0: "Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure," 2011.
- 10) JIS E 4018:2012: 鉄道車両一磁界測定方法, 2012