

講演 2. 鉄道車両における磁界の人体ばく露評価のための 磁界測定と鉄道車両における磁界の発生傾向

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、それらの機器が、その放射する電波雑音により他の機器に与える影響及び他の機器の放射する電磁雑音により受ける影響や、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、信号システムなどにおいて非常に多くの電気・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磁波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ことに関する共存を求める電磁両立性（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」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、電力設備が国際電気標準会議

（International Electrotechnical Commission）の国際規格 IEC 62110²⁾として、鉄道が技術仕様書（Technical Specifications）IEC/TS 62597³⁾として制定されている。

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「電気設備に関する技術基準を定める省令」を改正して電力設備及び送電線下における磁界基準を定め、2010 年に発行された ICNIRP の新ガイドラインに基づいた規制を実施した。

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 2012 年に実施した。

一方、鉄道車両については、国際的な技術仕様書である IEC/TS 62597 において既に測定方法が確立されているが、基準値は定められていない。これは、鉄道車両には直流、交流のき電方式別のみならず、新幹線、在来線と言った鉄道車両の他に跨座式モノレール、懸垂式モノレール及び新交通車両など車両の形態が様々であり、それぞれの車両において機器配置・配線も異なっていることから、客室内における磁界の発生傾向は一樣ではなく、基準値の定め方が鉄道電気施設とは異なるためと考えられる。

そのため、国内の鉄道車両内の磁界の発生傾向を把握する必要があり、当研究所では、鉄道局の指導の下、鉄道事業者の協力を得て、様々な車両における車両内の磁界について調査を行ってきた。

そこで、本報告では、これらの鉄道車両内における磁界の発生傾向について報告する。

2. 鉄道車両内における磁界の測定方法

鉄道車両内における磁界の測定方法は、前述の通り IEC/TS 62597 に定められている。IEC/TS 62597 における鉄道車両内における測定方法を表 1 及び表 2 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。

表 1 IEC/TS 62597 に規定されている測定用プローブ

	要件
直流磁界	<ul style="list-style-type: none"> IEC 61786 に準拠したセンサ 等方性 3 軸プローブ
交流磁界	<ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> 3 軸プローブ 測定帯域は少なくとも DC~20kHz

表 2 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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)

本報告では、フラックスゲート方式と Surface Method による磁界測定方法の組み合わせによる測定結果を示す。

鉄道車両から発生する磁界は、時々刻々と変化し、直流磁界成分と交流磁界成分が同時に放射される。そのため、直流磁界成分及び交流磁界成分を同時に測定することが望ましい。そこで、直流磁界成分及び交流磁界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ことが最も適当であると判断した。

また、測定位置については、以下の点から Surface Method による測定が人体影響への正確な把握、効率性の観点において望ましいと考えた。

- 鉄道からの磁界は、磁界発生源から不均一に分布するので、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、それを測定することが重要であること

- 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



図 1 当所における磁界測定システム

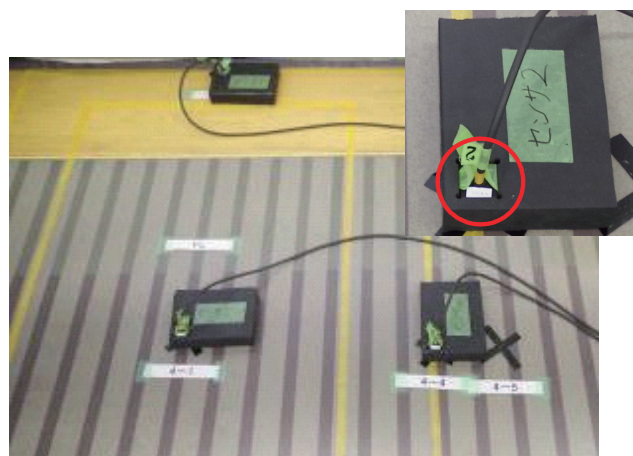


図 2 Surface Method による測定風景

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。

以上の点から図 1 に示す磁界測定システムにより、図 2 に示す測定を行った。

3. 測定条件

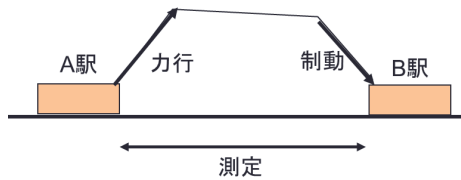
磁界測定及び解析時の周波数範囲等の条件は、IEC/TS 62597 に準拠した範囲とし、以下の通りとした。

- 周波数範囲 : 直流~20 kHz
- サンプリング周波数 : 51.2 kHz
- 周波数間隔 : 1.56 Hz
- 周波数解析時の時間窓長 : 0.64 秒
- 時間窓関数 : Hanning 関数
- オーバーラップ : 0%

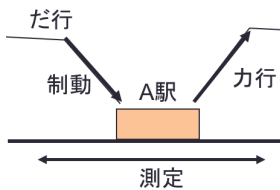
また、磁界測定時の車両の状態は、以下の通りである。

- SIV(Static InVerter) : 停車時に磁界を測定

・その他：図3(a)又は(b)に示す、力行・だ行・制動をセットとした走行で磁界を測定
ただし、測定時の最高速度は測定線区の制限速度に依存するため、全ての測定が同一条件で行われたものではない。



(a)1 駅間における測定方法



(b)駅停車における測定方法

図3 走行条件

4. 測定箇所

鉄道車両における磁界の発生傾向の検討については、大電流又は高周波電流が流れることにより、磁界が発生しやすい以下の装置・部位周辺を対象を絞り、測定を行った。

- ・主制御器
- ・主電動機
- ・フィルタリアクトル
- ・SIV（静止形インバータ）
- ・車両妻部
- ・貫通路渡り板直上
- ・主変圧器（交流き電の場合）

また、磁界の発生傾向を把握するに当たって、22種類の鉄道車両において測定を行った結果を検討した。

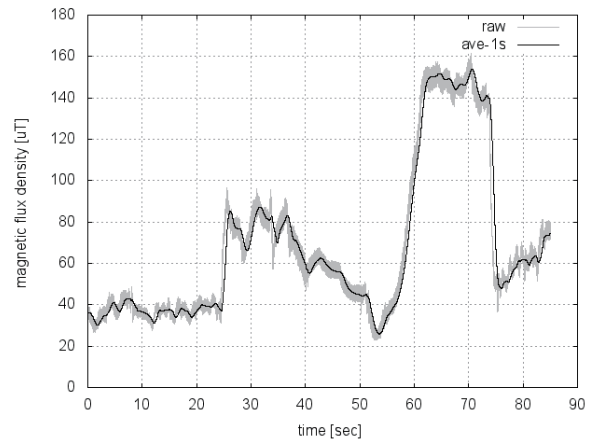
5. 磁界の測定及び解析結果例

図4に測定した磁界の解析結果例を示す。

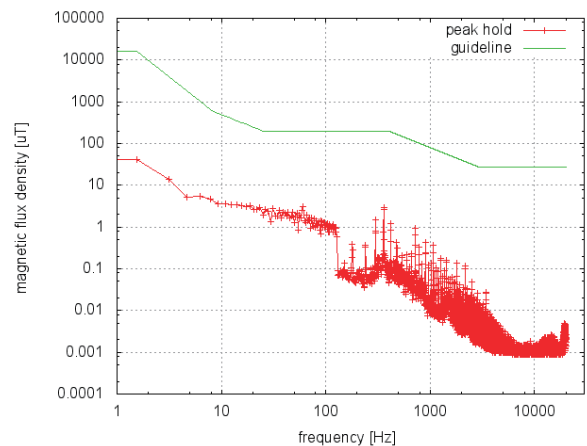
直流磁界は測定したX軸、Y軸、Z軸の時間領域の磁界データを3軸合成し、1秒移動平均を施して求めた。

交流磁界は、X軸、Y軸、Z軸の時間領域の磁界データを3章で示した解析条件により周波数解析し、3軸合成して求めた。Peak Holdの結果は、各周波数の

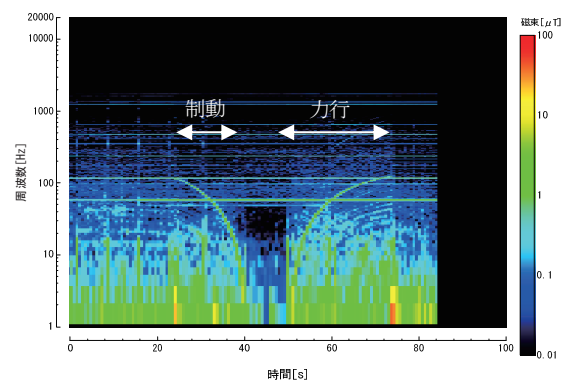
最大値を示し、カラーマップの結果は各周波数解析を時間軸に並べて、各周波数における磁束密度をカラー表示して可視化したものである。



(a)直流磁界の変化



(b)交流磁界の解析結果（Peak Hold）



(c)交流磁界の解析結果（カラーマップ）

図4 VVVF インバータ直上における磁界測定例

6. 磁界の発生傾向について

前章の方法により解析を行った結果を踏まえ、各測定箇所における磁界の発生状況について検討を行った。その結果を次に示す。

6. 1. 主制御器

VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)制御方式、CI(Converter Inverter)制御方式、サイリスタ位相制御方式について磁界発生傾向の確認を行ったところ、VVVF 制御方式及び CI 制御方式は、制御中には時間とともに周波数が増加する磁界が発生するが、サイリスタ位相制御方式は、制御中にはチョッピング周波数とともに数 Hz~1 kHz にわたる成分を持つ磁界が発生していることが確認された。

6. 2. 主電動機

誘導電動機と直流電動機について、磁界発生傾向の確認を行ったところ、主たる発生磁界は、誘導電動機が交流磁界、直流電動機が直流磁界であり、それらを制御する主制御器の方式の違いが電動機直上の磁界に影響を与えていることが確認された。

6. 3. フィルタリアクトル

フィルタリアクトルについて、磁界発生傾向の確認を行ったところ、直流磁界を主体とした磁界が発生するとともに、主制御器から伝導される交流電流、又はパンタグラフから流入した交流電流(変電所からの交流電流:商用周波数+その整流高調波)による交流磁界が直流磁界に重畳していることが確認された。一方、車体の材質による差異については、大きな違いは見られなかった。ただし、アルミニウムのダブルスキン構体車両内の磁界は概して低かった。

6. 4. SIV

SIV について、磁界発生傾向の確認を行ったところ、入力電流による直流磁界と、出力電流による電源駆動周波数(商用周波数)、チョッピング周波数及びその高調波の交流磁界が常時発生していることが確認された。

6. 5. 車両妻部

車両妻部の高圧母線ぎ装付付近における磁界発生傾向について、直流き電式車両、交流き電式車両で確認を行ったところ、同等の出力を得る場合、直流き電式車両はき電電圧が低いこと、供給される直流電流が多くなることから直流磁界が大きくなりやすく、一方、交流き電式車両は商用周波電流が供給されるもの、き電電圧が高いことから、電流値が直流き電式車両よりは小さく、結果的に磁界が小さくなることが確認された。ただし、商用周波数磁界については、直流車両よりも高い場合も見られた。

6. 6. 貫通路渡り板直上

貫通路渡り板直上における磁界発生傾向について、直流き電式車両、交流き電式車両で確認を行ったところ、直流き電式車両は屋根上から車両下へ向かう高圧母線がぎ装されていることから、車両妻部ほどではないが、直流磁界が確認された。一方、交流き電式車両は高圧母線に商用周波数の電流が流れていることから、商用周波数の磁界が確認された。また、主制御器から主電動機への車間渡り線がある場合は、車間渡り線から生じる主制御器の動作周波数の磁界が確認された。

6. 7. 主変圧器

主変圧器直上における磁界発生傾向の確認を行ったところ、駆動周波数である商用周波数及びその高調波の交流磁界が主に確認された。また、交流磁界は、この他の周波数に対してもレベルは低いものの全体的に分布していることが確認された。

7. まとめ

国内の鉄道車両内の磁界の発生傾向を把握する必要がある、当研究所では、鉄道局の指導の下、鉄道事業者の協力を得て、様々な車両の形態における鉄道車両内の磁界について調査を行ってきた。

今回、鉄道車両における発生磁界の傾向について、主制御器、主電動機、フィルタリアクトル、SIV、車両妻部、貫通路渡り板直上、主変圧器の各装置、場所において検討を行い、その概要を紹介した。

今後は、この結果を踏まえ、鉄道車両内における磁界を人体影響に対して正しく評価するための評価手法の検討を行う必要がある。

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"