

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

磁界を視る

近年、身の回りの磁界環境について社会的な関心が高まっています。鉄道周辺についても同じで、地上電気設備から発生する磁界の強さについて規制値が出されるなど、活発な動きがあります。一方で、磁界は何やら得体のしれないもののように思われている方も多いでしょう。これは、磁界を直接目で見たり感じたりすることができないことがその原因の一つと考えられます。そこで、磁界とは何なのかを簡単に説明した後、その可視化、視える化について紹介したいと思います。



長谷川 均
Hitoshi Hasegawa
浮上式鉄道技術研究部
低温システム研究室
室長
【専門分野】リニアモーター、磁気浮上、電気機器、移動体電源

はじめに

磁界は、永久磁石や電流により発生します。磁界は場であるため、そのままでは何も起こりませんが、そこに磁石や砂鉄を置いたりすると、これに力が働きます。また、電子が動いてもここに力が働きます。このような現象は電磁力と呼ばれ、フレミングの法則やマクスウェルの応力といった形で表現されています。

永久磁石による磁界と電流による磁界は、本質的に同じものと考えられています。止まっている永久磁石や直流電流により発生する磁界は時間的に変動しません。地球も大きな永久磁石と考えられており、これによる地磁気も地面に立っていれば、ほぼ一定です。一方、動いている磁石や交流電流による

磁界は、時々刻々と磁界の強さも変動します。例えば、コンセントからの商用電源を電磁石につなぐと、電源の周波数や電流の大きさに応じて磁界の強さも変わります。もちろん、乾電池のような直流電源をつなげば磁界は変動しません。

電流から発生する磁界の強さ（図1参照）はアンペア・ピオサバールの法則で計算できます。図1に電流から発生する磁界の様子を示します。図の上段のように、太い矢印で示した電流が流れると細い矢印のような磁界が発生します。同じく下段のように電流を一周させると、上下方向に磁界が発生します。図では乾電池がつないであるため、磁界は変動せず一定です。変動しない磁界のことを直流磁界といいます。

図1 磁界強さの単位

磁界は、磁束密度 B [T (テスラ)] と磁界の強さ H [A/m (アンペア毎メートル)] で表されます。この2つの量の関係は、マクスウェル電磁方程式中の物性方程式で表されています。

$$B = \mu H$$

この μ は透磁率と呼ばれ、空気中では約 1.26×10^{-6} という値です。ところが、鉄のような強磁性体では空気中の1000倍以上の値になります。このため鉄の周辺では大きな磁束密度が観測されます。世の中にはへそ曲がりもいて、負の透磁率をもった反磁性物質（ビスマス、グラファイトなど）や、完全に磁界を排除する完全反磁性物質（超電導体）などもあります。

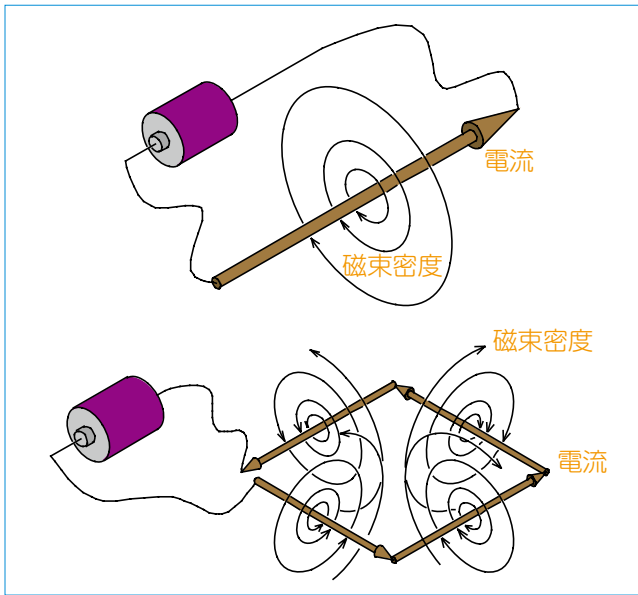


図1 電流から発生する磁界の様子

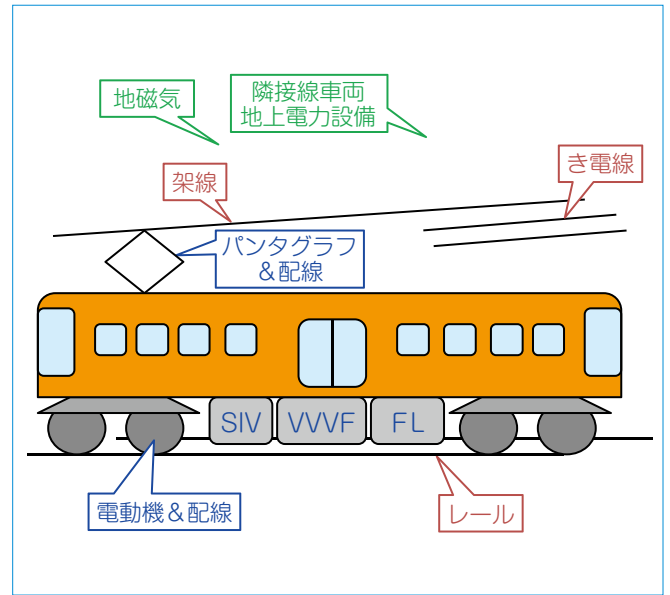


図2 電気鉄道周辺の磁界発生源

コンセントにつなぐと東日本では50Hzで、西日本では60Hzで変動する磁界が観測されます。変動する磁界を交流磁界といいます。明確な定義はありませんが、直流磁界と数十kHz以下の交流磁界を低周波磁界と呼んでいます。

低周波磁界と鉄道

鉄道の車両は電車と呼ばれるように、電気のエネルギーで走る車両が大多数です。ということは、鉄道の周辺ではさまざまな電流が流れていることになります。前に述べたように、電流が流れば多かれ少なかれ磁界が発生します。図2に電気鉄道周辺で発生する磁界の元となる現象や機器を列挙しました。青色で示したものが自分の車両からの発生源、茶色が自分の走る線路から、緑色が地上設備や地磁気などです。図中の「SIV」「VVVF」「FL」と書かれた機器は、「静止型電力変換器」「駆動用インバーター」「直流リアクトル」の略で、電車のモーターを動かす装置、照明や空調用の電源装置などです。それぞれ、電流の大きさも変動周波数も違い、さまざまな磁界の発生源があることが分かります。

低周波磁界のガイドラインと規制

電流により磁界が発生すると述べましたが、反対に交流磁界により電流が生じる現象もあります。ということは、磁界により何らかの影響が周りに及ぶことになります。磁界が影響を与えるものとしては、他の電気電子機器や生体があります。過去に磁界の影響を受けやすい電子機器として、CRTいわゆるブラウン管がありましたが、最近では液晶パネルに置き換わってしまったため、日常生活レベルの磁界で影響を受けるような機器はほとんどなくなりました。

生体すなわち人体は電気を通す物質でできていることや、神経伝達を電気的に行っていたりするため、磁界の影響を受けることが考えられます。磁界

の生体への影響については、さまざまな実験や疫学的な調査が行われていますが、はっきりとした結果が出ていないのが現状です。

磁界の生体影響については、国際非電離放射線防護委員会(☞参照)という団体が、ICNIRPガイドラインを出しています。このガイドラインは、生体の短期的影響に基づいて基本制限値を決め、さらに参考レベルを定めています。おおむねこの参考レベル以下の磁界の強さであれば影響がほぼないとされています。欧州などの各国ではこのガイドラインに基づいた規制を行っています。日本でも、地上の電気設備などから発生する磁界に関し、50/60Hzの参考レベルである $200\mu\text{T}$ という値が規制の根拠となっています。

☞ 国際非電離放射線防護委員会とICNIRPガイドライン

欧州に拠点を置く第三者機関で、正式には、International Commission on Non-ionizing Radiation Protection、略してICNIRPと呼ばれている。生体影響について科学的な裏付けのある生体電流による刺激作用、すなわち短期影響から磁界の影響度合いを数値化し、ガイドラインを作成しています。2008年にガイドラインが改訂され、この値が現在使用されています。発がん性などの長期的影響については、まだ科学的裏付けがないとされ生体防護指針には取り込まれていません。

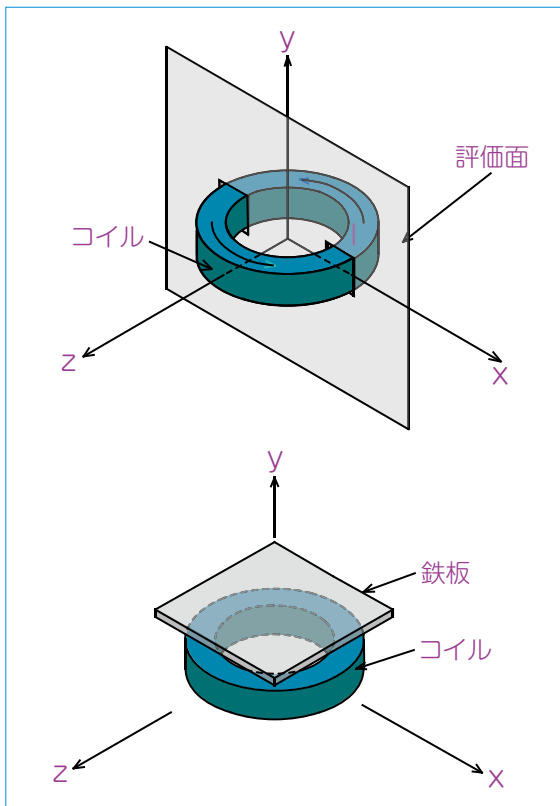


図3 コイルに流れる電流と磁界

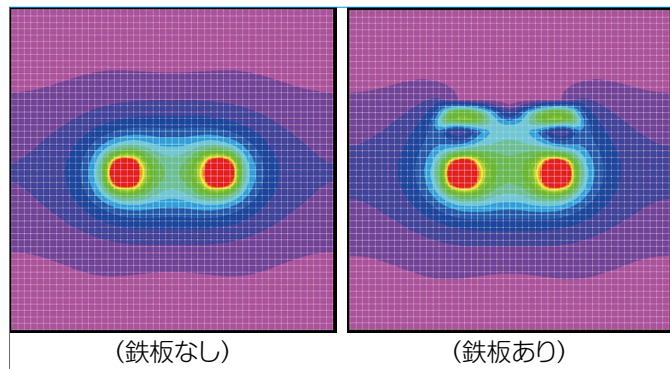


図4 磁束密度のコンター図

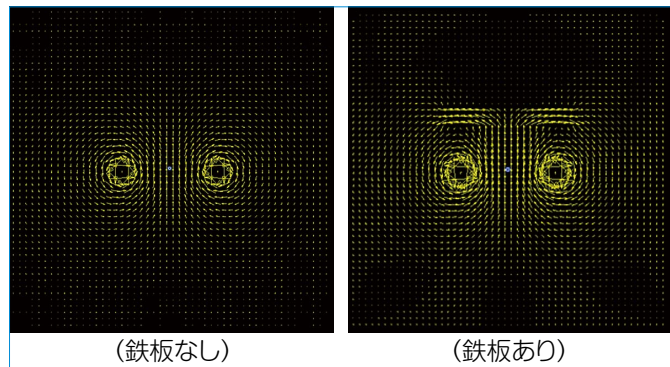


図5 磁束密度のベクトル図

磁界の可視化、見える化

計算機によるシミュレーション

目に見えない磁界をどうやったら目に見えるようにできるのでしょうか？一つの方法として、計算機上でシミュレーションすることが考えられます。いわゆるコンピュータグラフィックス、CGです。計算機内で磁界の発生源を模擬し、最初に述べたアンペール・ビオサバールの法則やマクスウェルの方程式を有限要素法などで解いて、その結果を表示させます。図3にドーナツ状のコイルに電流を流した場合のシミュレーションモデルを示します。図3の下の図は、そのコイルの上に鉄板を載せた場合のモデルです。これを計算させると図4や図5のような磁界を示す画像が得られます。図4のコンター図は、地図の等高線のように磁界の強さが同じところを線で結び、強いところと弱いところを色や濃淡で示したものです。左の図は鉄板のない場合

で、コイルから遠ざかるに従って、磁界が弱くなっている様子がわかります。右の図が鉄板のある場合です。まゆ毛のような部分が鉄板で、局部的に大きな磁界がありますが、鉄板の上の空間の磁界は鉄板の無い場合と比べて小さくなっていることがわかります。図5はベクトル図です。図4と同じ現象を表していますが、磁力線の方角に向かって矢印を描いたものです。図4の等高線と図5の矢印は直行する関係となります。ベクトル図は、砂鉄を撒いた時の模様とほぼ同じような形になります。このようにCGを使うことにより、実際には見えない磁界の状態や特徴をつかむことができます。

測定装置や可視化装置

計算機によるシミュレーションは実際にのぞくことのできない物質の内部や非常に小さい領域、逆に非常に広大な空間などを模擬することができます。ただし、あくまでも架空のモデルであ

るため、モデル化されていない現象が表現されなかったり、誤差を含んだりしています。そこで目の前の実在の空間での磁界がどのようになっているか知りたいものです。磁界を測定するセンサーはたくさんあります。例えば、ホール素子、磁気抵抗素子、サーチコイル、フラックスゲートセンサーなど多種多様です。このようなセンサーを使用して、磁界の強さを測り、これを表示すれば、可視化装置になります。可視化装置には、一つのセンサーで空間を掃引するタイプのものと、多数のセンサーを配置して一度に磁界を測定してしまうものがあります。

図6に、多数のセンサーを配置し、そのセンサーに対応した箇所に磁界の強さを明るさで表現する可視化装置を示します。この装置は、鉄道総研が開発したのですが、磁界の方向を緑と赤の色で、強さを明るさで表現できます。例えば磁石のN極に近づくと明



図6 磁界可視化装置

るい赤で光り、磁界の弱いところでは暗くなります。図のように赤と緑が表示されているということは、その境界線のところで極性が反転していることが分かります。先ほどのCGでいうコンター図の実写版といったところです。この装置の目的は磁界分布の大まかな把握にあり、精密な磁束密度の測定ではありません。この装置で磁界の強いところを探ったり、急激に変化している箇所を特定し、そののちに精密な測定装置を使って、評価するといった使い方をします。目で見えるようになるということは、人間の直感に訴えるため、磁界の低減対策などに大きな威力を発揮できると思われます。

ただし注意しなければならないのは、可視化装置で空間的な分布は可視化で

きますが、周波数などの時間的なものは表現が難しいため、精密な測定器を使った判断が必要です。

おわりに

最近、携帯通信機器の発達によりこれらの機器から発生する磁界の生体に対する影響が取りざたされています。それに伴って、数十kHz以下の、いわゆる低周波磁界に対する関心も高まってきています。関心が高いと同時に不安や憶測で語られることがよく見受けられます。そもそも我々の生活している周りの環境磁界がどのようになっているかが分からないため、このような不安が増長されているのではないのでしょうか。鉄道周辺に限らず、目に見えない磁界を見えるようにすることで、



図7 無線電力伝送の実験

学芸員のTシャツの絵が大陸間無線電力伝送装置
ニコラ・テスラ博物館(ベオグラード)にて

不安を和らげることができると考えられます。

本稿では磁界の基本的な話と可視化について述べました。ここで述べた可視化装置は、直感的な磁界の把握にとどまらず、専門的な磁界環境の評価という面でも役に立つツールと思われます。

お客様に安心して鉄道に乗っていただくためにも、科学的な根拠に基づいた磁界の評価というのが、今後ますます必要となってくると考えられます。

最後に、磁界の強さの単位の名前にもなったテスラについて、コラム(☞参照)で簡単に紹介します。[RRR]

☞ ニコラ・テスラ

磁束密度の単位 [T] の元となった人物は、ニコラ・テスラ(セルビア,1856-1943)という科学者です。祖国では紙幣の肖像や飛行場名になっています。交流電動機を発明したり、現在の電力送配電システムの原型を作ったりと偉大な発明家であります。一方で、無線で大陸間の電力伝送を試みたり(図7)、高出力ビーム兵器を構想してみたりと、当時の人々からは変人扱いを受けたようです。また、トーマス・エジソンと馬が合わなかったのは有名で、信憑性は定かではありませんが、ノーベル賞候補に挙がった時にエジソンも同時に推薦されたため、辞退してしまったという話があります。

文献

- 1) 池畑, 他: 鉄道の電磁界と生体の関わりを探る, RRR, Vol.68, No.9, pp.26-29, 2011
- 2) 森田, 他: 電鉄用変電所が発生する電磁界の解析と低減対策, 鉄道総研報告, Vol.22, No.12, pp.35-40, 2008
- 3) 長谷川: 鉄道車両周辺の低周波磁界と可視化装置, R&m, Vol.2, No.10, pp.31-36, 2012