

鉄道における電磁環境を守るため、 車両内外の磁界の流れをさぐる



坂本 泰明
Yasuaki Sakamoto
浮上式鉄道技術研究部
電磁気研究室長



加藤 佳仁
Yoshihito Kato
浮上式鉄道技術研究部
電磁気研究室
主任研究員



脇 耕一郎
Koichiro Waki
浮上式鉄道技術研究部
電磁気研究室
主任研究員

はじめに

私たちの身の周りには、電気や磁石を使ったさまざまな製品があります。これらのなかには、電気や磁石によって生じる磁界を利用しているものが多くあります。鉄道においても、国内の約7割の線路は変電所から電気が送られており、約8割の車両は電気で走っています¹⁾。多くの鉄道が、変圧器やモーターなどで磁界を利用しています。さらに、地球全体が大きな磁石のような性質を持っており、私たちは地磁気のなかで暮らしています。このように、磁界は私たち

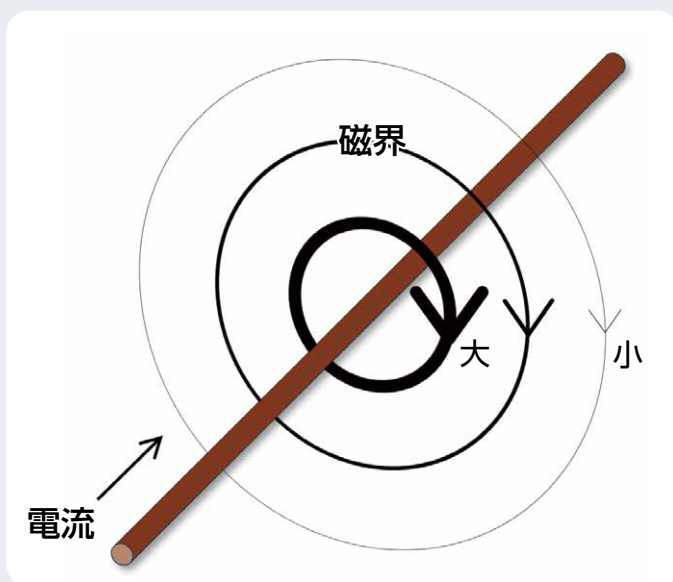
の生活に深く関わる身近な存在です。

ところで、磁界には「大きさ」と、N極からS極へなどの「向き」があり、風などのように「流れ」を形成します。その流れは、周囲の環境によって、複雑に変化します。本記事では、鉄道における複雑な磁界を評価し、電磁環境を守るため、車両内外の磁界の流れをさぐる研究開発を紹介します。

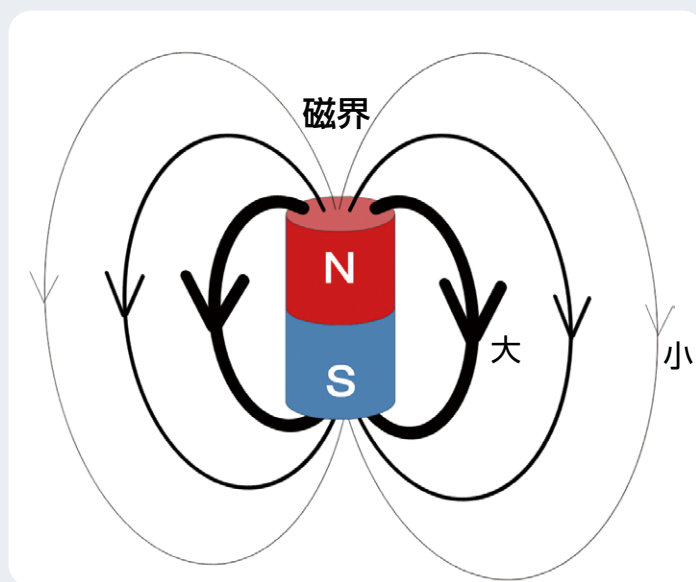
磁界の性質

磁界は電流や磁石の周りに発生します。電流

図1 基本的な磁界の流れ (イメージ)



(a) 電流



(b) 磁石

の場合は電流を取り囲むように円を描き、磁石の場合はN極からS極へ向かって流れます(図1)。

【性質1：目に見えず、感じられない】磁界の流れは、人の目では見えないうえ、肌で感じることもできません。つまり、風などとは異なり、人は知覚しません。この性質によって、通常は人が磁界を不快などに感じることはありません。逆に言えば、磁界があること自体も気付きません。

【性質2：距離が離れると急激に小さくなる】流れが遠くまで広がらず、電流や磁石から離れると急激に小さくなります(図1)。とくに、電流であれば往復の電流が流れる電線が互いに近い場合、磁石であればN極とS極が近い場合は、電流や磁石のすぐ近くにしか流れが届きません。

【性質3：磁性体に引き寄せられる】鉄板などの**磁性体**があると、磁界の流れはその磁性体の内部を通ろうとする性質があります(図2)。

【性質4：交流の場合、導体によって遮られる】アルミ板などの**導体**があると、磁界の流れは、その導体のなかでは大きさや向きが時間変化しにくいという性質があります。とくに、**交流**の電流から発生する磁界は常に大きさや向きが変わ

るので、導体があるとその内部に磁界の流れが侵入しにくくなります。**周波数**が高い場合は遮られます(図2)。

磁性体

磁界によって磁化される物質のことで、磁石にくっついたり、自分が磁石ようになる性質があります。磁界の流れを通しやすい、流れを保ち続けるなどの特性があります。代表的なものとして、鉄やニッケルなどの金属があり、変圧器やモーターの鉄芯などに用いられます。

導体

電気をよく通す物質のことで、自由電子が多く存在するため電流が流れやすいという性質があります。代表的なものとして、銅やアルミニウムなどの金属があり、電線やコイルなどに用いられます。なお、導体には、交流の磁界が加わると、導体内で自由電子が渦状に流れて、磁界の流れを通しにくくなる特性があります。

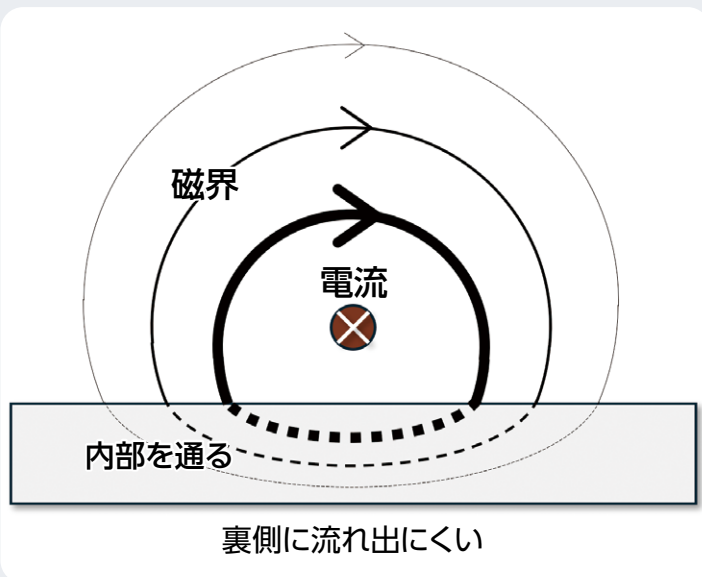
交流

向きが一定ではなく、時間とともに周期的に変わる電流の流れのことです。家庭のコンセントの電気は交流で、1秒間に50回または60回、プラスとマイナスが入れ替わります。

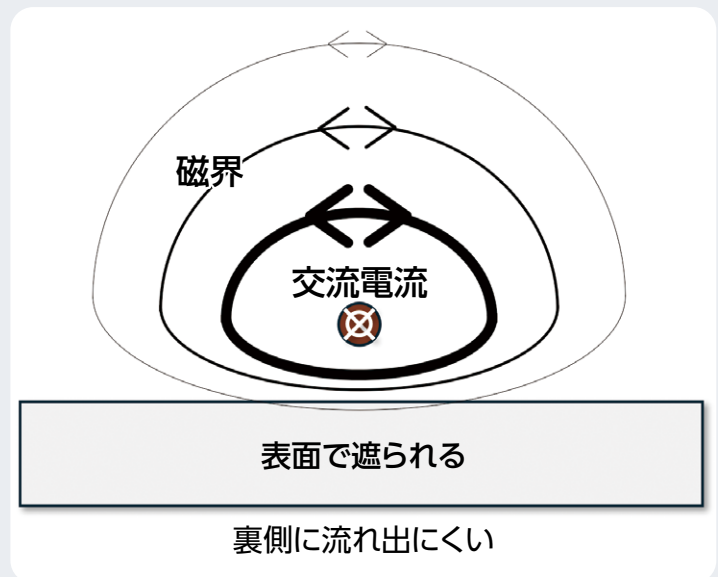
周波数

電気や磁界などの変化が1秒間に何回起こるかを表す数値で、単位はヘルツ(Hz)です。高いほど変化が速くなります。

図2 金属板がある場合の磁界の流れ(イメージ)



(a) 鉄板などの磁性体



(b) アルミ板などの導体

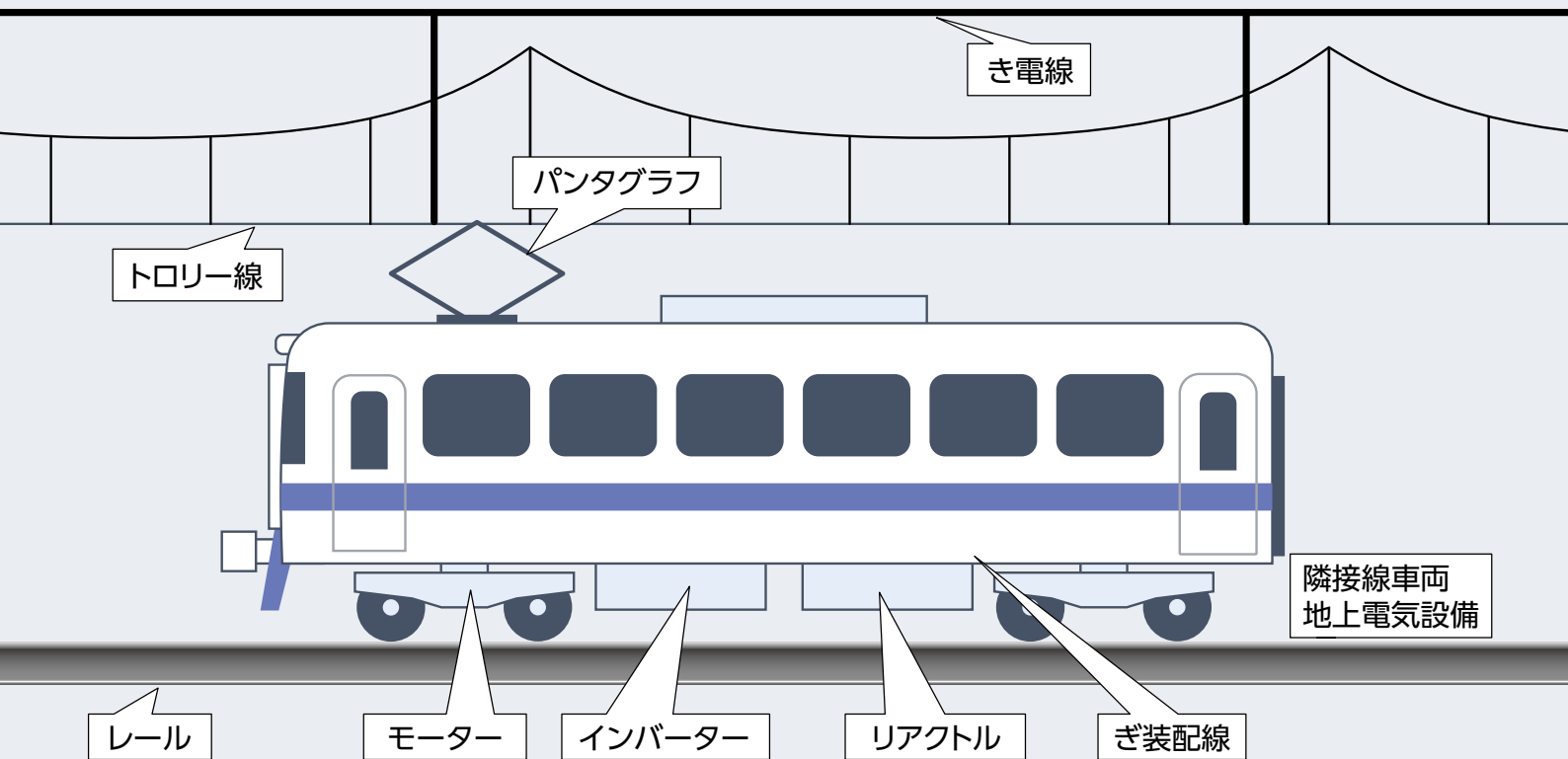


図3 電気鉄道的主要な磁界発生源

ここで、話は前述の性質1に戻りますが、通常は磁界の流れを人が感じることはありません。しかし、普通の生活では経験しないような極端に大きくて、かつ、時間変化する磁界が人体に加わると、神経に刺激を与える場合があることが報告されています²⁾。これを避けるために、人がいる場所の磁界の大きさに関して、国際的なガイドラインが設けられています²⁾。このガイドラインによる基本的な評価手順は、①磁界の大きさの時間波形データを取得、②そのデータの周波数分析を行う、③周波数ごとの大きさを各周波数で決められた参考レベルに対する比率に換算、④周波数ごとの比率を全て合算して総合的な評価値を算出、⑤左記までの手順を時間的に連続に繰り返す、というものです。これ

らの手順を実施するのは手間が掛かりますが、ガイドラインと照らし合わせることで、磁界があっても、安心なものであることを確かめることができます。

鉄道車両の複雑な磁界の流れ

電気で動く鉄道の磁界の流れはとても複雑です。まず、磁界の発生源が多くあります。例えば、トロリー線、パンタグラフ、変圧器、リアクトル、インバーター、モーター、電線、レールなど、電流が流れる電気品は全て磁界を発生します(図3)。これらが発生する磁界は、大きさ、向き、周波数がバラバラなうえ、走行状態によっても変化します。車両内外の磁界の流れの全てを把握するのは困難です。しかし、発生源から離れ

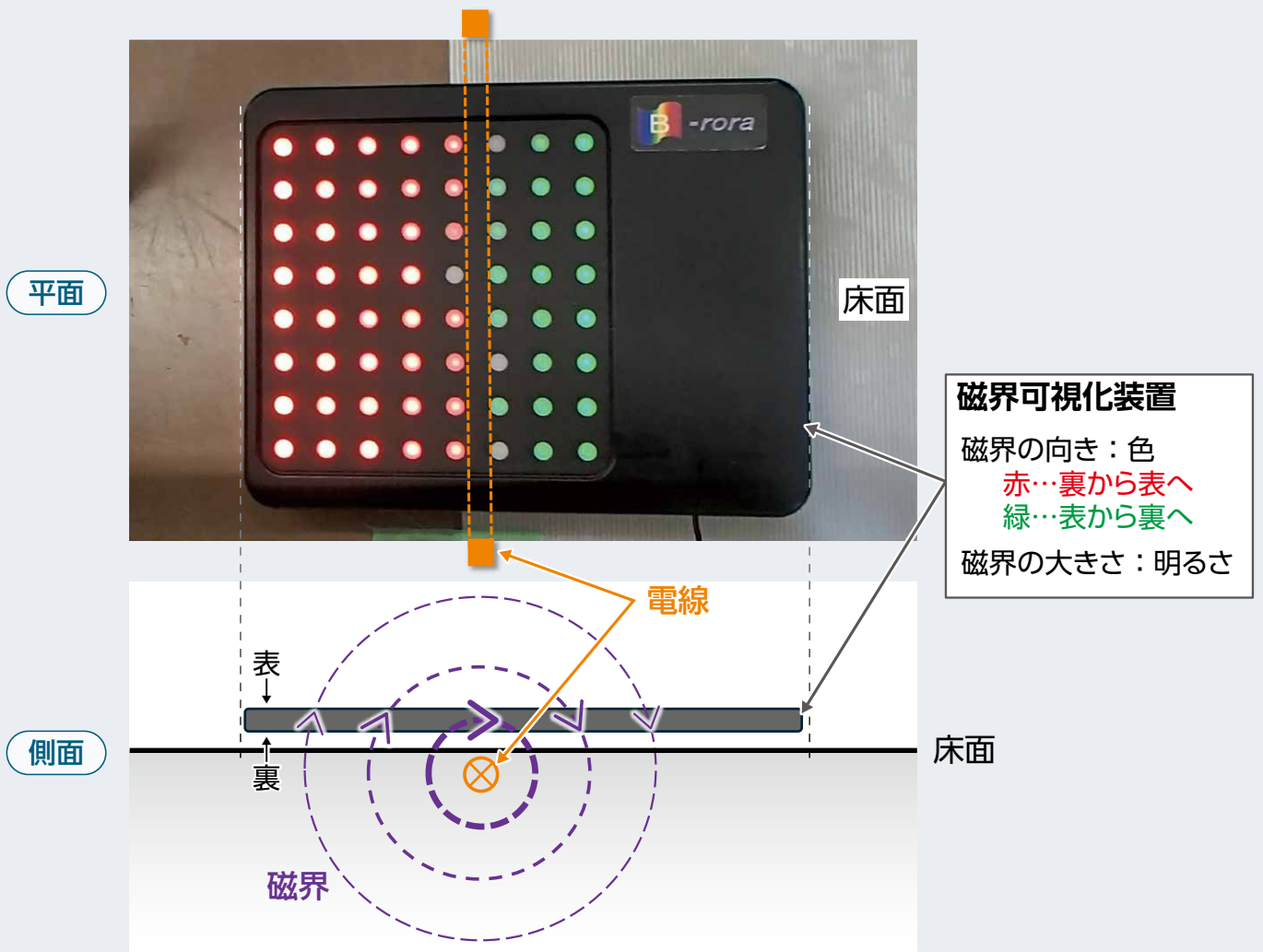


図4 磁界可視化装置（直流磁界用）

ると磁界の大きさは急激に小さくなり（性質2）、各電気品を収める金属製のケースや車両の壁や床のなかにある金属板によって、磁界の流れが曲げられたり（性質3）、遮られたりする（性質4）ので、人のいる客室や駅ホームなどに届く磁界はかなり限られます。鉄道における電磁環境を守るためには、この限られた磁界を評価しておく必要があります。これを現場で実施するには、(1) 見えない限られた磁界が車両内外のどこにあるかを早く把握し、(2) 磁界の大きさの時間波形データを効率よく取得し、(3) 走行状態に応じて連続的にガイドラインと照合して評価する必要があります。

磁界の流れをさぐり、 評価するための研究開発

(1) 流れを見える化 ～磁界可視化装置の開発～

車両内外の見えない限られた磁界がどこにあるかを早く把握できるようにするため、磁界の可視化装置を開発しました（図4）。鉄道の磁界は直流と交流があるため、それぞれに対応した2種類の装置を用意しました。いずれも磁界センサー（ホール素子）とLEDを網目状に配置し、LEDの明るさなどで磁界の大きさを表します。直流用はLEDの色で磁界の向きを表します。小型・軽量で可搬式としています。例えば、これを車内に持ち込み、床などに近づけることで、磁界の流れを視認することができます。図4のように、床しか見えない箇所でもその裏

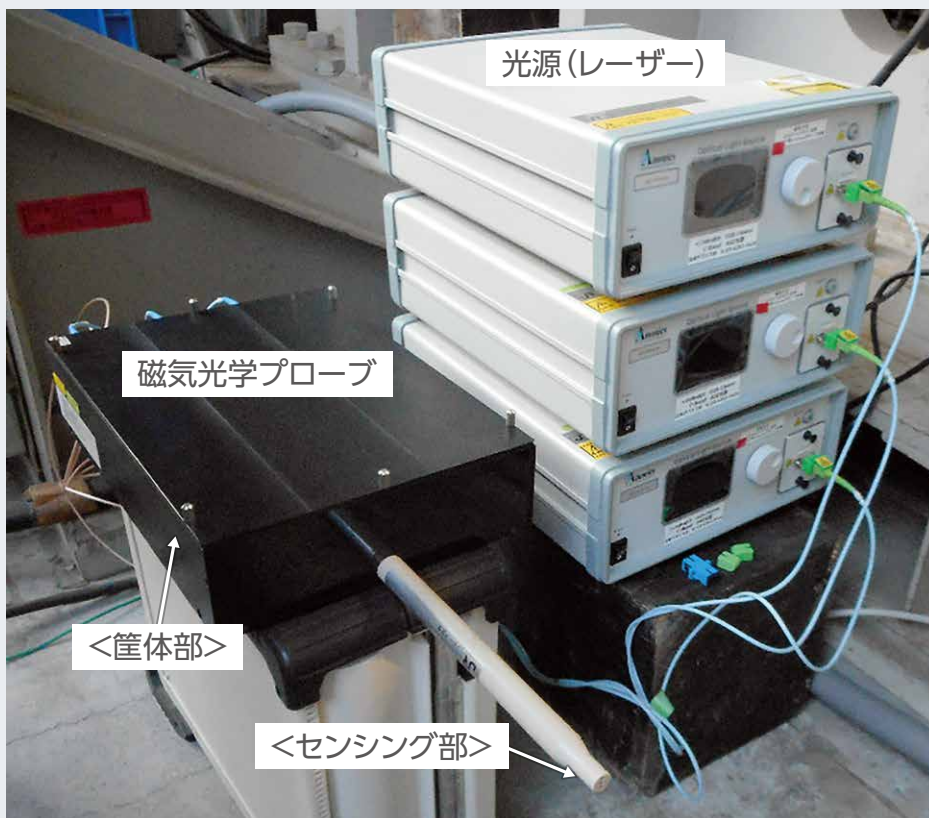


図5 開発した磁気光学プローブによる磁界測定システム

側に電線があると、磁界の流れがはっきり見えて、そこに電線があることを確認できます。この磁界可視化装置を用いて、磁界の評価が必要な箇所を特定します。

(2) 測定を効率的に

～磁気光学プローブの開発～

磁界可視化装置で特定した箇所の磁界を測定するにあたり、前述のように大きさと周波数は事前には分からないものとして測定に臨む必要があります。ここで、鉄道車両の電気品が発生する磁界の大きさと周波数はともに幅広く変化することが分かっています。状況によっては、既存の磁界センサー（ホール素子、フラックスゲート、サーチコイル）では、2種類を組み合わせないと全ての大きさと周波数に対応できないことが想定されます。そこで、これに1種類のセンサーで対応し、現場での測定を効率的に行えるようにするため、新しい磁界測定システムを開発しました（図5、図6）。

光（直線偏光）が素子を通る際に磁界があると光の波面が回転する“ファラデー効果”（図7）とよばれる原理を用いた、磁気光学プローブを採用しています。磁界の流れの向きの変化などにも対応するため、3方

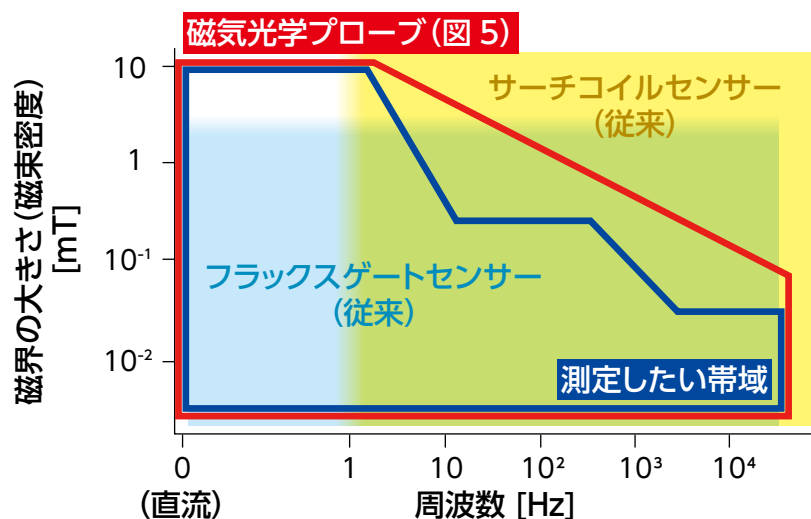


図6 磁界センサーの測定帯域

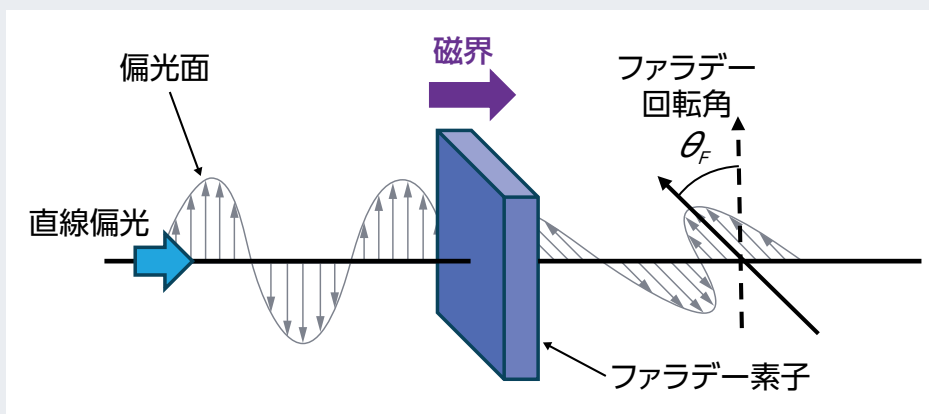
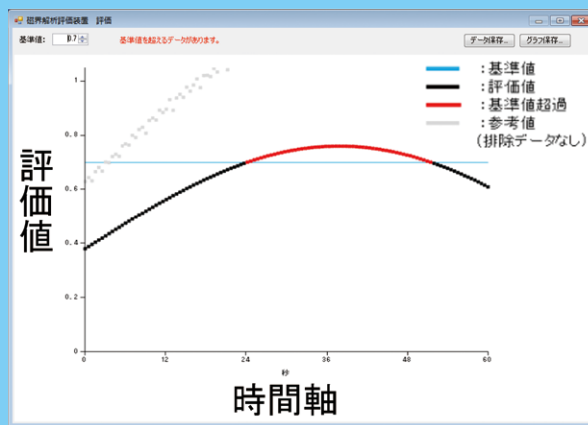


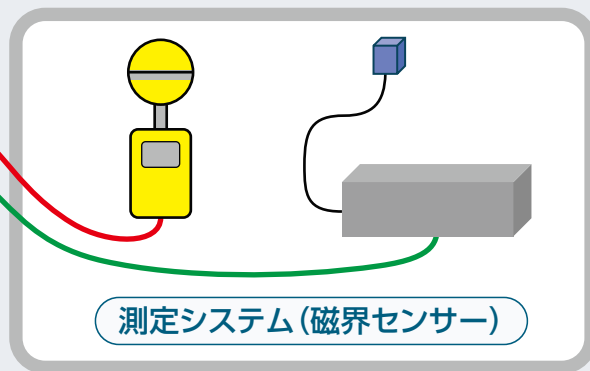
図7 ファラデー効果



開発した評価システム



交流磁界の評価例
(サンプルデータによる)



測定システム (磁界センサー)

図8 磁界評価システム

向の大きさを同時に測れるようにしています。この磁界測定システムも現場に持ち込める大きさにしています。

(3) 評価を簡単に ～磁界評価システムの開発～

磁界測定システムなどで得られた磁界の大きさの時間波形データを、前述のガイドラインの手順に従って自動処理し、評価結果をグラフィカルに表示できる磁界評価システムを開発しました(図8)。これにより、手間の掛かっていたデータ処理作業を自動化でき、現場ですぐに結果を把握することができるようになりました。なお、(2)の磁界測定システムに限らず、市販の磁界センサーの出力も取り込めるようにしています。

おわりに

鉄道における電磁環境を守るため、車両内外の磁界の流れをさぐる研究開発を紹介しました。

磁界は人の感覚では捉えられないため、その存在自体が気にされることは少ないかもしれませんが、しかし、鉄道総研では、鉄道における磁界が安心なものであることを確認するための取り組みを続けてまいります。なお、ご紹介した磁界測定評価システムは車両に限らず、地上電力設備などから発生する磁界の評価にも活用できます。現地での測定・評価などのご依頼への準備を整えています。RRR

文献

- 1) 国土交通省：鉄道統計年報【令和4年度】，https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000079.html (入手日：2025年6月23日)
- 2) 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