電気鉄道における低周波電磁界の計測技術

奥井　明伸
電力技術研究部
（き電　研究室長）

小西　武史
同
（同　副主任研究員）

森田　　岳
同
（同　研究員）

おくい　あきのぶ　　こにし　たけし　　もりた　がく

1．はじめに

近年，電力設備や電気鉄道から発生する低周波電磁界の影響についての社会的関心が高まりつつあります。低周波領域の電磁界が直接人体に与える影響については，世界保健機関（WHO）による疫学的研究および生物学的研究をはじめとする調査等に基づいて，国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）や米国電気学会（IEEE）でガイドラインが定められているほか，精密機器についても整備が進んでおり，国内では，電子情報技術産業協会（JEITA）等で電子機器に対する一定の基準が定められています。一方，誘導障害というかたちで送電線等が通信線路へ与える影響については，感電，機器の誤動作防止といった観点から，国際電気通信連合の電気通信標準化部門（ITU-T）や我が国の誘導調整委員会等で安全基準が定められています。電気鉄道においては，EMCという観点により9kHzから1GHzまでについては発生量（エミッション）と曝露耐量（EMI）の制限値と測定方法が国際規格として発行されていますが，9kHz以下の低周波については整備の過程にあります。こうした国内外の電磁環境に関する規格の整備を背景に，電磁界の測定法についても規格等が整備されはじめており，ここでは，低周波電磁界の一般的な計測手法や評価方法について述べるとともに，上述した測定法に関する国内外の規格等についても触れます。

2.電磁界の測定法

2.1　電磁界とは

「電磁界（電磁場）」という言葉は，「電界（電場）」と「磁界（磁場）」という異なる物理現象を「場」という共通の概念であるところから併せて称した言葉と考えられますが，電界は，電位を有する送電線等の周囲に発生する場を表すもので，一般に電界強度（V/m：ボルト／メートル）という物理量で評価されます。一方，磁界は，電流が流れている電線路等の周囲に発生する場を表すもので，一般に磁束密度（T：テスラ）という物理量で評価されます。また，「電磁波」と「電磁界」は混同して使われがちですが，両者は異なる性質を持つもので，電磁波がマクスウエルの方程式によって表現されるように，電界と磁界が相互に作用し合いながら波となって伝わる現象であるのに対し，その周波数が低くなるにしたがって波としての性質が無視できるほど小さくなり，電界と磁界が独立して存在するようになります。電磁波は発生源から離れて空間を輻射波として伝わるのに対し，電磁界は輻射波のような形で空間を伝播することはありません。

2.2　電気鉄道における電磁界の測定

低周波電磁界の測定は，2.1節で述べたように，多くの場合，磁束密度と電界強度という物理量で測定・評価されますが，通信線路への影響が問題となる場合には，電界・磁界による誘導電圧という形で測定・評価されることもあります。電気鉄道には直流電気方式と交流電気方式がありますが，直流電気方式では，主に直流の磁束密度と商用周波数の磁束密度が測定の対象となり，電界強度の測定は高電圧の架空送電線路を有した一部の変電所等に限られるの

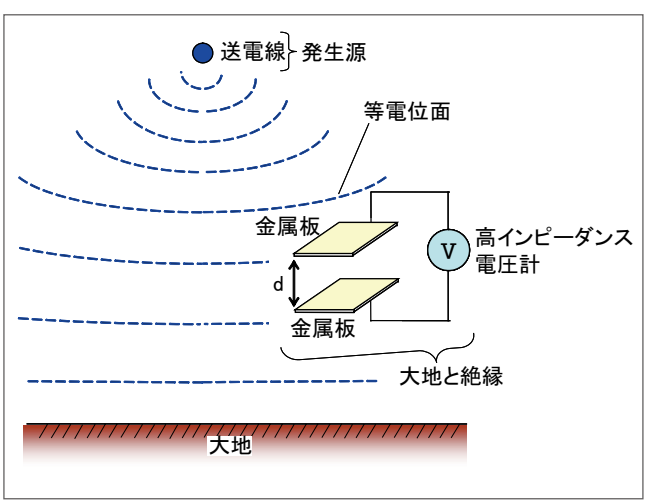

図１　平行平板による電界強度の測定原理

図２　３軸型電界強度測定器の例

図４　３軸型磁束密度測定器の例

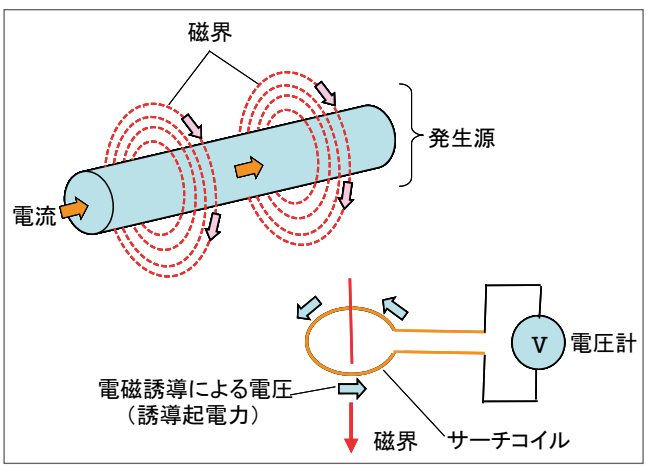

図３　サーチコイル方式による磁束密度の測定原理

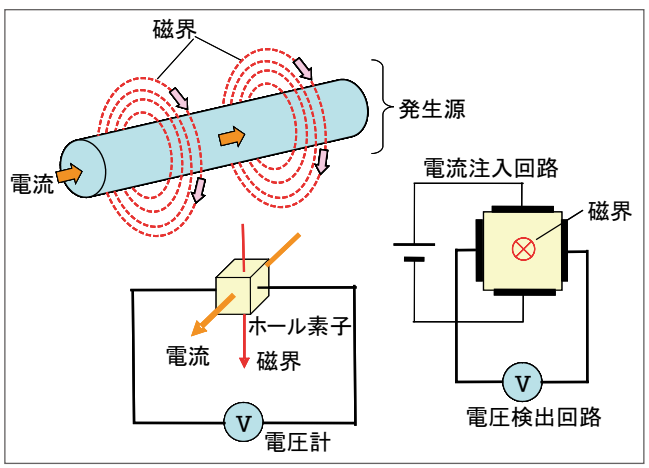

図５　ホール素子による磁界の測定原理

に対し，交流電気方式では，商用周波数の磁束密度と商用周波数の電界強度が測定の対象となります。こうした，磁束密度，電界強度は2.3節に示す測定手法により測定されます。

2.3　電界強度の測定法

低周波の電界強度は，平行平板による測定方法が一般的です。いま，電界中に図1に示すような二つの金属板を一定の距離dだけ離して空間に配置するものとします。

この金属板は，大地および他の電界発生源とは完全に絶縁されているため，金属板間の電位差Vを高インピーダンスの電圧計で測定することができれば，近似的に電位勾配V/dが測定できます。これが，平行平板による電界強度測定の原理です。

3軸型測定器の場合は，各座標軸に対応した金属板が3組（測定器全体としては6つの極板がある）設置され，ベクトル量としての測定が可能です（図2）。

2.3　磁束密度の測定法

低周波の磁束密度の測定法は複数存在しますが，ここでは代表的な3種類について紹介します。

(1) サーチコイルによる測定方式

この方法は電磁誘導を用いたもので，変動する磁界中に図3に示すような，ある断面積を持ったコイル（通常は円形です）を設置し，このコイルに発生する誘導起電力を電圧計で測定することで磁束密度を算出します。3軸型測定器の場合は，各座標軸に対応したサーチコイルが3つ配置されているため，ベクトル量としての測定が可能となります（図4）。磁界が時間的に変動しない直流磁界では，誘導起電力が発生しないため，本方式では測定することができません。

(2) ホール素子による測定方式

直流の磁束密度の測定法（交流も測定可能です）として一般的なものがホール素子による方法です。ホール素子は，ホール効果を利用して磁界を測定する素子です。ホール素子の構成は，図5に示すようにホール効果の強い材料に電流注入回路と電圧検出回路を接続した構造となっています。これに図示の方向に磁界が印加されると，ホール効果により電圧検出回路に電圧が発生し，この電圧から磁束密度を求めることができます。3軸型測定器では各軸に対応して

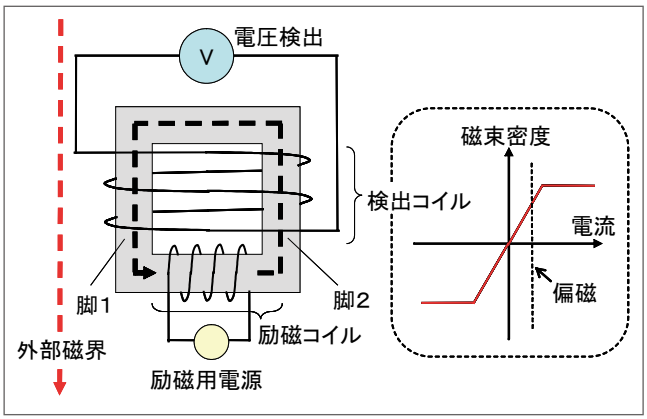

図6　フラックスゲートによる磁束密度の測定原理

3つのホール素子が組み込まれています。

(3) フラックスゲートによる測定方式

直流および交流の磁束密度の測定が可能な方法として，フラックスゲートを用いた手法があります。この方法は強磁性体の磁化特性のうち磁気飽和現象を利用したものです。フラックスゲートの基本構成要素は，図6に示すような構造で，強磁性体のコアに励磁コイルと検出コイルが巻かれています。励磁コイルは，コアを図中の矢印方向に励磁するように巻かれており，検出コイルは，脚1ならびに脚2の磁束の和を測定するように巻かれています。磁界が存在する場合は，コアは偏磁します。コア磁束の変化を見ると，これが正となる半周期では強く飽和するのに対し，負となる半周期では弱くしか飽和しません。こうしてコアの磁束は上下非対称波となります。脚1と脚2の磁束を見れば，上下非対称性により両者の和（検出コイルの総鎖交磁束）は時間的に変動する台形波となります。検出コイルの電圧は，これの微分となり，正負のパルス列となります。パルス幅はコアの磁束の上下非対称に由来し，これは外部磁界に比例するため，このパルス幅から磁束密度が検出できます。

3．電磁界測定に関する規格

3.1　電力設備の電磁環境に関する国際規格

電力設備における電磁界の人体曝露評価を目的とした測定規格案が，国際電気標準会議（IEC）のTC106委員会で進められており，2009年3月現在IEC規格62110の投票用原案（CDV）の投票が終了し，最終原案（FDIS）の作成が了承されました。FDISの投票を通過すればIEC規格として正式に発行となります。本規格の対象とするのは，送電線，配電線，変電所など一般の電力設備の発生する電界・磁界で，対象周波数は商用周波数です。職業者は特殊曝露であることから対象とする人は一般公衆に限定されています。したがって，電力設備の敷地内における測定は基本的

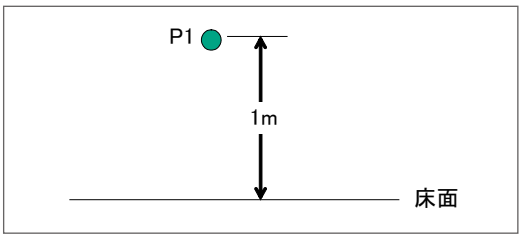

図7　IEC規格案62110の規定する1点測定

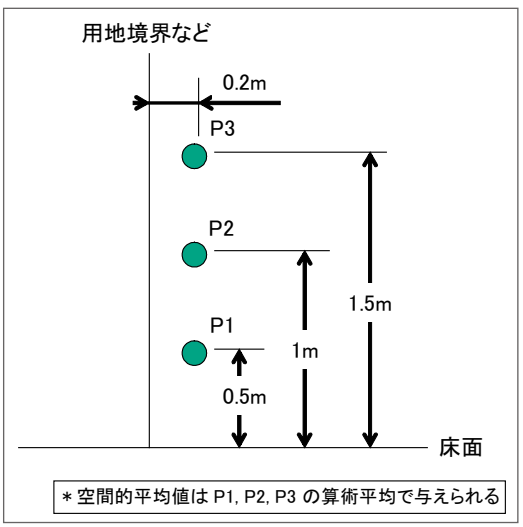

図8　IEC規格案62110の規定する3点測定

に想定されていません。この規格は，人体曝露評価を目的としたものであるため，この測定結果をそのまま電子機器のEMIの評価などに適用することはできません。鉄道が本規格の対象となるかどうかは今後の検討を待つ必要があります。

電力設備の電磁界が本質的に非一様であることから，TC106では非一様な電磁界の取扱いについて詳細な検討がなされ，その結果，本規格案では以下の3つの測定手法が提案されています。

(1) 一様な電界・磁界が想定される場合（架空送電線や配電線）には1点測定（図7）を実施する。床上1mにおいて測定を行う。

(2) 非一様な磁界が想定される場合（変電所の敷地境界や機器の直近など）には3点測定（図8）を実施する。敷地境界あるいは機器の壁面など一般公衆が近付きうる最小の離隔から0.2mの位置で，床上0.5m，1.0m，1.5mの電磁界を測定する。なお，測定された空間的平均値はこれらの算術平均で与えられる。

(3) 床上で人が横になることが想定される箇所（屋内など）については，5点測定（図9）を実施する。測定のおおまかな手法は床上0.2mの高さにおいて，半径0.5mの円の中心と円周上の4点で測定を行い，最大の測定値を3つ抽出し算術平均で空間的平均値を算出する。

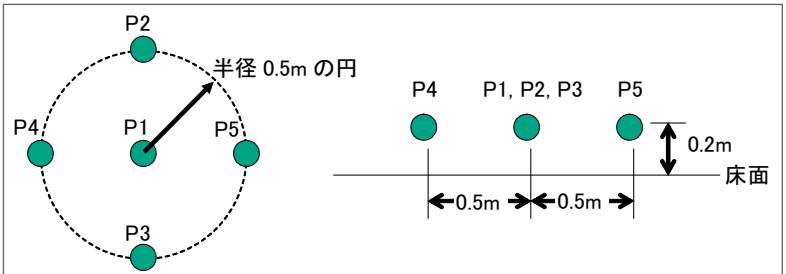

図９　IEC規格案62110の規定する５点測定

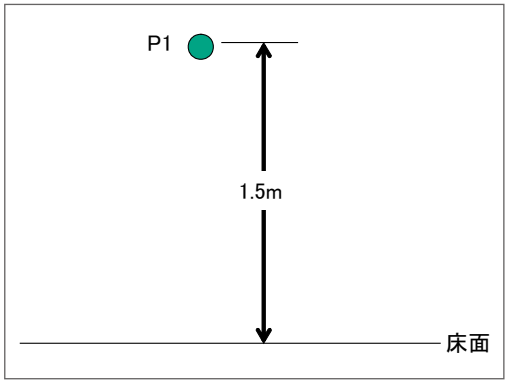

図１０　EN 50500の規定する沿線における測定手法

なお，測定器としては幅広い選択肢を用意するという思想により，IEC 61786の規定するプローブが規定されています。

3.2　鉄道の電磁環境に関する国際規格

これまで鉄道に関する規格は，9kHzから1GHzまでの周波数を対象としたEMC規格のみが存在しており，低周波に対する規格は整備されていませんでしたが，近年，人体防護を指向した電磁界測定のための国際規格の検討が開始されました。

ヨーロッパ連合（EU）では，電磁界曝露レベルをICNIRPガイドライン以下とすることを義務付ける指令（EC）が出されており，これに対応する形で主に欧州電気標準化委員会（CENELEC）が中心となり，人体防護のための電磁界測定に関するヨーロッパ規格（EN規格）の整備が進められています。この中で鉄道に対する規格も検討委員会TC9Xで検討が行われ，2008年7月にEN 50500として発行されました。対象は鉄道設備（地上設備，車両の全てを含む）の発生する直流から20kHzまでの磁界（電界は対象外）からの人体防護のための測定・計算・評価手法です。本規格は，目的や思想としては電力設備に対するIEC規格案62110と類似していますが，測定の手法や非一様磁界に対する考え方で相違があります。その相違の一例として測定位置の違いが上げられます。図10，図11 にEN 50500に定められた沿線と変電所における測定点を示します。1点測定については，IEC規格案62110が高さ1mであるのに対し，EN 50500は1.5mであり，3点測定については，前者が高さ0.5m，1m，1.5mで，境界からの離隔が0.2mであるのに対して，後者は，高さ0.3m，0.9m，1.5mで境界からの離隔が0.3mとなっています。車両の測定については，さらに複雑な規定がなされています。

両者の考え方の相違は非一様磁界の評価方法にもあります。IEC規格案62110では空間的平均値を考え，測定値の中に局所的に大きな値がある場合も許容するのに対し，

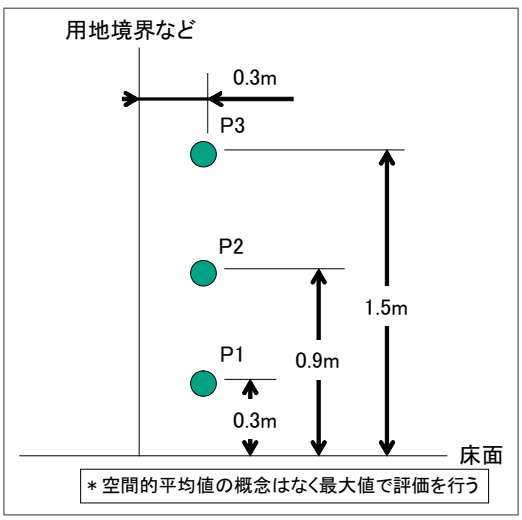

図１１　EN 50500が規定する変電所における測定手法

EN 50500はあくまで最大値で評価します。また，測定器についてもEN 50500は特定の形式の測定器を指定していることも特徴です。本規格は，あくまでEUのみで運用される地域規格であるため，EUの国情に特化した記述が多くなっています。

EN 50500は発行と同時期にIECの「Fast track手続き」（既存の地域規格をそのままIEC原案として審議する手続き）により，IEC規格62597の原案としてIEC化に向けた審議が開始されました。

4．まとめ

国内においても，経済産業省を中心に電力設備が発生する低周波電磁界規制のあり方を検討する「電力設備電磁界対策ワーキンググループ」が開催され，今後のあり方を示す報告書が2008年に公表されました。こうした電磁界規制に鑑み，測定の手法としてもIECに準拠する方針が示される可能性があります。今後，こうした国内外の動向に注視する必要があるとともに，電磁界の測定法・評価法の確立が重要になると考えられます。RRR