

インバータとモータの組み合わせ試験による直達ノイズ確認手法

車両制御技術研究部 駆動制御研究室
主任研究員 廿日出 悟

1. はじめに

鉄道分野における誘導障害試験とは、鉄道車両から発生する電流や電磁波が地上の鉄道信号に影響を与えないことを確認する試験である。誘導障害試験には帰線電流試験と直達ノイズ試験の2つがある。帰線電流は軌道回路に、直達ノイズは地上子に影響を与える。誘導障害という単語は、もともとトロリ線に流れる電流が沿線の電話通信線に雑音を誘導する通信誘導障害を指す言葉であった。やがて車両から発生する電流や電磁波が鉄道信号に悪影響をおよぼすことが判明してからは、信号機器への影響も誘導障害と呼ぶようになっていく。

誘導障害試験は完成車両について実施する一方で、鉄道車両の完成前においては電氣的なノイズ発生量の予測が困難である。そのため、誘導障害試験に不合格となることが度々発生する。不合格時にはノイズ対策工事及び再試験が必要になるため、現在では再試験を考慮した試験期間を確保しており、営業走行までの工程への影響が大きい。

そのため、直達ノイズを車両完成前に事前に確認し、車両完成後の誘導障害試験は1回で合格できるようになることが望ましい。本発表では、組み合わせ試験（インバータとモータのみで行う動作確認試験）において確認可能な手法¹⁾を構築した結果を報告する。

2. 直達ノイズの定量モデル化

2.1. 直達ノイズに関する考察

鉄道車両のインバータから発生する直達ノイズは、コモンモード電流(三相のモータ配線を同一方向に流れる電流)に依存することが経験的に分かっている。

初期のインバータ車両では図1(a)のようにインバータ-モータ間はモータ配線(三相線)のみであった。その後の車両では、直達ノイズ対策として図1(b)のように、フレーム接地線を追加してノイズが減少している。このような経験から、直達ノイズは図1(a),(b)に見るように、コモンモード電流が作るループ面積が重要と考えられてきた。

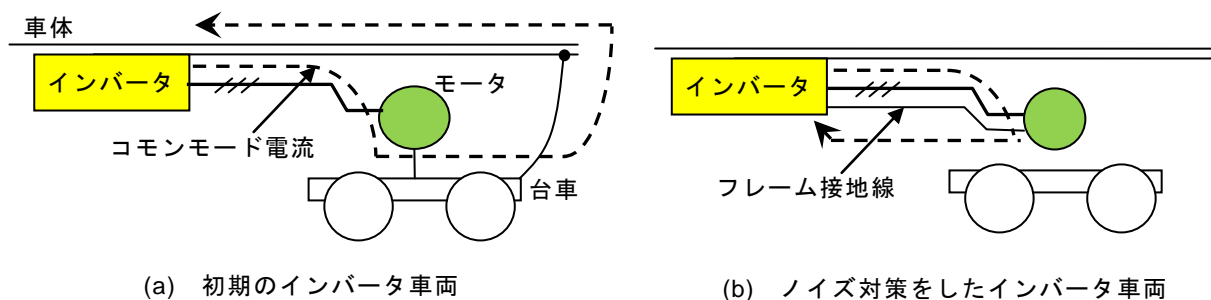


図 1. コモンモード電流の流れ方

しかし、図 1 (b)の状態でもノイズが十分に減少せず誘導障害試験で不合格になる事例も多いことが分かっている。電流が磁界を形成する原理に従えば、コモンモード電流が形成する磁界は、フレーム接地線に流れる電流が形成する磁界によって打ち消される。打ち消しの度合いは電磁波の波長が長いほど強くなる。日本の鉄道の地上子で使用される電磁波の波長は最短でも 100m であり、図 1 (b)の配線であれば、コモンモード電流が形成する磁界はほぼ完全に相殺され、直達ノイズは発生しないことになり、経験的な事実と矛盾する。

そこで、実体配線を元にコモンモード電流の経路を考えると、図 1 (b)の配線であってもコモンモード電流の一部が台車枠に漏れだすと考えられる。これは、モータが台車枠に取り付けられているためである。そこで、漏れだす電流(漏れ電流)が直達ノイズ(磁界)を形成すると考えることとした。この考え方に従って直達ノイズのメカニズムを示したものが図 2 である。図 2 のメカニズムであれば、図 1(a)と図 1(b)の違いも説明できる。図 1(b)では、フレーム接地線に流れる電流の分だけ漏れ電流が図 1(a)よりも少なくなることで、直達ノイズが小さくなる理由と言える。

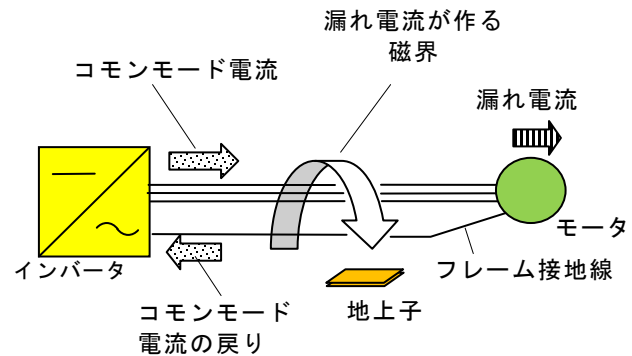
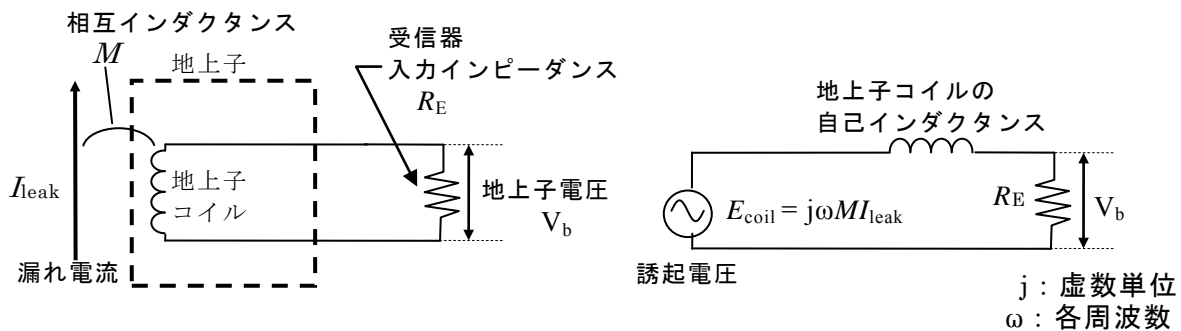


図 2. 直達ノイズの発生メカニズム

2.2. 直達ノイズに関する等価回路及びパラメータ

誘導障害試験では地上子に発生する電圧(地上子電圧)で判定するため、漏れ電流と地上子電圧との定量的な関係を明らかにする必要がある。漏れ電流 I_{leak} と地上子電圧 V_b との関係を模式的に示したものが図 3(a)、等価回路は図 3(b)である。漏れ電流と地上子コイルとの相互インダクタンス M による誘起電圧が直達ノイズである。相互インダクタンスは、漏れ電流の流れるモータ配線と地上子コイルとの位置関係で決まり、計算が可能である。



(a) 漏れ電流と地上子電圧との関係

(b) 等価回路

図 3. 直達ノイズのモデル及び等価回路

3. 直達ノイズモデルの検証試験

定量モデルの検証試験を組み合わせ試験で実施した。図 4 に組み合わせ試験における機器の配置を示す。組み合わせ試験においては、モータ配線以外の機器による磁界の影響を排除することを目的として、モータ配線を木製の枠の上に直線状に配置し、さらに地上子をプラスチック製の

箱の上に配置した。また、プラスチック製の箱の数を変化させ、モデルの定量的な正しさも検証した。地上子は回路定数が既知である 30cm 角の正方形の木製芯に電線を巻いた模擬地上子を用いた。

さらに、実車においても検証試験を実施した。実車の場合、モータ配線が直線状に配置されていないため、モータ配線と模擬地上子との最短距離を相互インダクタンスの計算に用い、モデルによる地上子電圧が実測を上回ることを検証した。

図 5 に検証試験結果の一部を示す。組み合わせ試験ではモデルによるピーク値及びピークの周波数が実測にほぼ一致しているほか、広い周波数範囲でモデルと実測が一致している。実車においてもほぼ全ての周

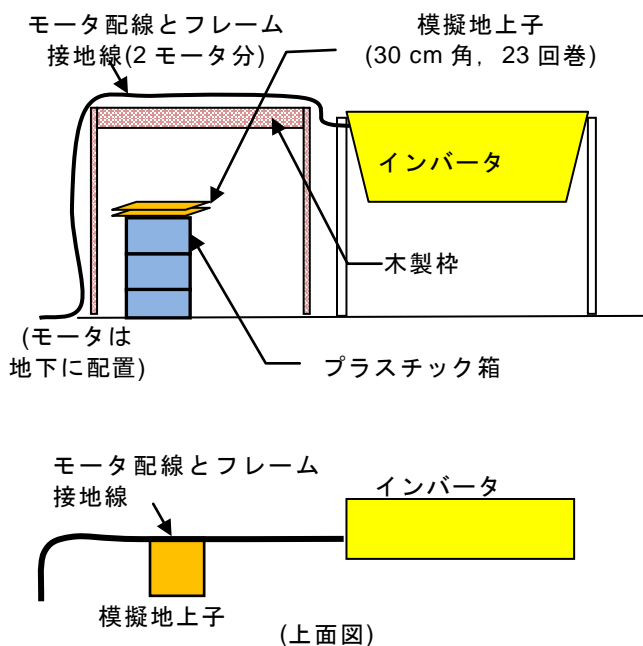


図 4. 直達ノイズモデルの検証試験

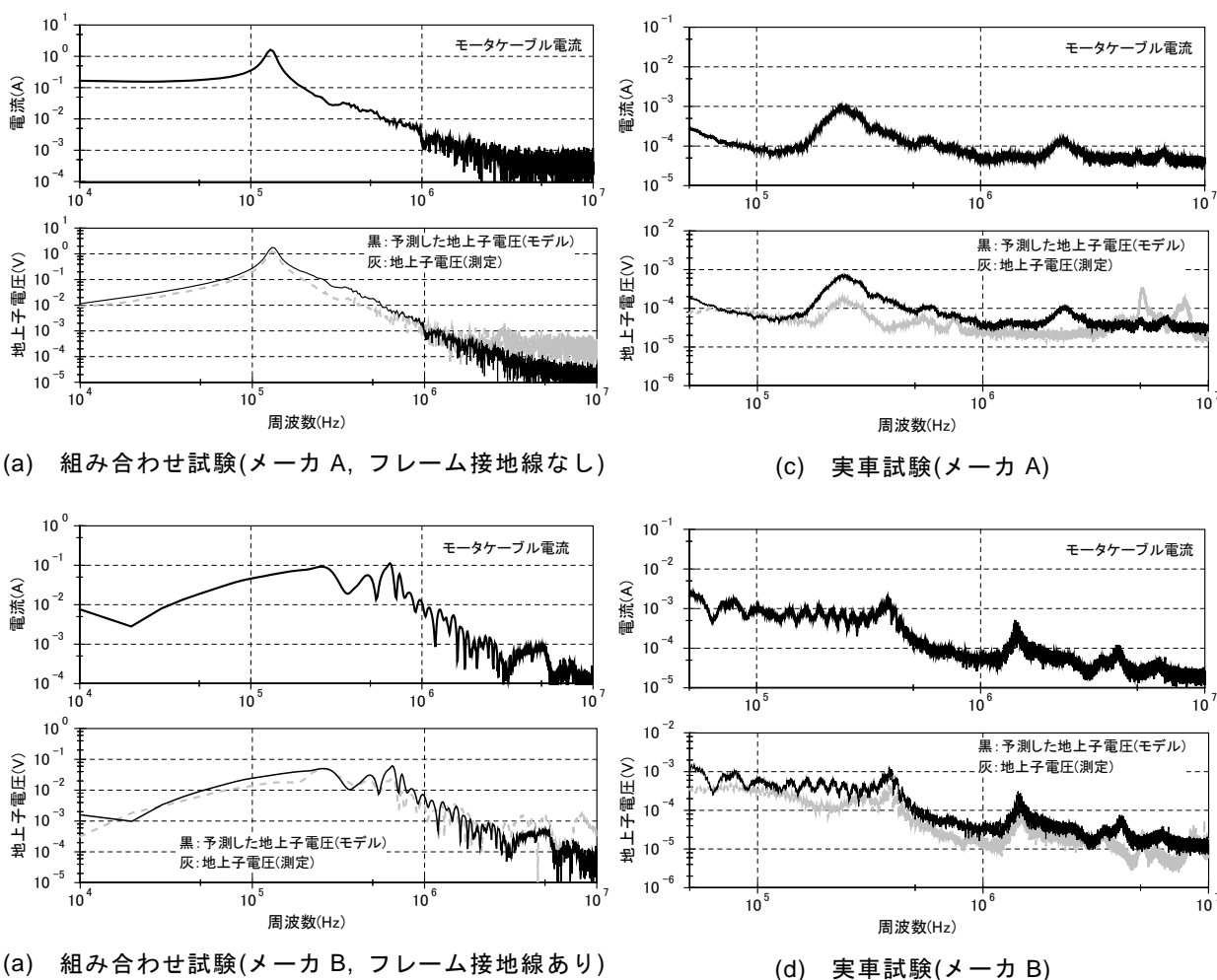


図 5. 直達ノイズモデルの検証結果

波数でモデルが実測を上回り,漏れ電流から地上子電圧を計算するモデルの有効性が確認できた。

4. 直達ノイズの事前確認手法

検証試験ではモデルを用いて漏れ電流から地上子電圧を計算した。一方で誘導障害試験の限度値に相当する地上子電圧からモデルを用いると,誘導障害試験の限度値に相当する漏れ電流(漏れ電流限度値)を算出できる。この漏れ電流限度値は図6のような方法で,メーカ工場内で実施する組み合わせ試験において確認可能である。これまでは,車両完成後に行っていた各種ノイズ対策効果の確認を,今後は図6の事前確認で可能である。そのため,メーカ工場内で最も良好な対策を確認した後に車両へ適用できる。よって,車両完成後の誘導障害試験不合格による手戻りが少なくなることが期待できる。

この事前確認手法は駆動用インバータのみならず,静止型補助電源装置や空気調和装置用のインバータなど,コモンモード電流が発生するあらゆる装置に適用可能である。

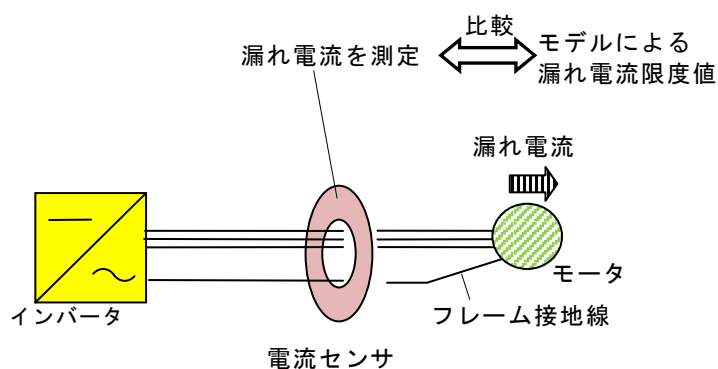


図 6. 直達ノイズの事前確認手法

5. まとめ

鉄道車両の直達ノイズについて定量的なモデル化を行い,組み合わせ試験及び実車についてモデルの妥当性を確認した。モデルを用いると,誘導障害試験の限度値から漏れ電流の限度値を計算できる。漏れ電流限度値は組み合わせ試験において確認可能であり,これまで不可能であった誘導障害試験の事前確認が可能となる。

現在,一部の鉄道事業者及びメーカにおいて,本事前確認手法を試行中である。実車と組み合わせ試験とでは,車両接地やモータ配線の長さが異なるため,組み合わせ試験における漏れ電流は,完成車両における漏れ電流と必ずしも等しいとは限らない。

しかし,今後本事前確認手法による経験が積み重なり,メーカの設備で組み合わせ試験と完成車両との対応を高めることで,やがてはメーカ内における自主的な限度値が決まり,完成車両の誘導障害試験に自信を持って望めることになると期待する。

なお,現在のところ,信号装置の諸元が判明している JR の主な信号設備のみ漏れ電流限度値を算出しているが,その他の装置についても諸元が分かれば漏れ電流限度値を導出可能である。

文 献

1) 廿日出, 山中: 鉄道車両インバータの直達ノイズ事前確認手法の構築, 電気学会 交通・電気鉄道研究会資料, TER-15-043, 2015.