

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

鉄道車両の電磁ノイズを製作段階で予測する

鉄道車両はさまざまな電気機器を搭載しています。そのため、これら電気機器から発生する電磁ノイズに充分注意が必要です。とくに電磁ノイズが鉄道信号装置に悪影響を与えた場合は重大事故につながる可能性もあり、特別な注意を払っています。鉄道車両は各種電気機器を組み立てるため、車両が完成するまで電磁ノイズがどうなるか予測できませんでした。ここでは、鉄道車両の製作段階で電磁ノイズが鉄道信号に悪影響を与えるかどうかを予測するための研究について紹介します。



廿日出 悟
Satoru Hatsukade
車両制御技術研究部
駆動制御研究室
主任研究員
【専門分野】 鉄道車両の
電磁障害防止に関する
研究

はじめに

現在走行している電気鉄道車両の多くはインバーターとよばれる電気機器でモーターを回転させています。インバーターを使うメリットは、交流モーターというメンテナンスコストが安いモーターを使えることにあります。

そのようなインバーターですが、欠点の一つとして電磁ノイズを発生することがあげられます。電磁ノイズとは、インバーターが本来必要とする電気以外の電流や電磁波を指し、たとえばラジオやテレビに雑音が入るといった悪影響を及ぼします。

とくに、電磁ノイズが鉄道の信号装置に悪影響を及ぼしてしまうと、列車の運行に支障が出たり、最悪のケースでは脱線や衝突事故を引き起こす可能性もあるため、入念な確認が必要です。

鉄道では誘導障害試験(☞参照)と

いう試験において、完成した鉄道車両と信号装置を実際に組み合わせたデモンストレーションを行い、信号装置に悪影響を与えないことを確認します。この試験に不合格となることがときどき起きているため、現在では試験スケジュールに予備日として、ノイズ対策をするための空き日程をあらかじめ設けています。それでも間に合わずにスケジュールが遅れる場合もあります。

不合格になる理由の一つに鉄道車両が完成する前に電磁ノイズがどのくらい発生するか予測が難しいことがあります。事前に予測ができれば、鉄道車両を組み立てる前にノイズ対策を確認することができるため、完成後のデモンストレーションには1度の試験で合格することが期待できることから、試験スケジュールの短縮が可能になります。

☞ 誘導障害試験

鉄道車両が鉄道信号装置に影響を与えないことを確認する試験です。安全に関わるため、試験に合格しないとその車両は本線を走行することができません。日本に限らず海外でも誘導障害試験の不合格により、ノイズ対策するために営業開始が遅れる事態がときどき発生しています。

なお、「誘導障害」という単語は、おもに沿線の電話線への誘導による障害を指しますが、鉄道では鉄道信号装置への障害にも用いられています。

電磁ノイズの予測モデル

電磁ノイズの発生メカニズム

鉄道車両のインバーター周辺の模式図を図1に示します。インバーターとモーターを結ぶ配線はアルミダクトで覆われていますが、台車部分や車両間の渡り部分を覆うことができません。ここから電磁ノイズが多く出るといわれています。信号装置は地上子により車上装置と通信をしますが、地上子は線路上にあるために車両の配線との距離が数十cmしかなく、電磁ノイズの影響を受けやすいのです。

インバーターはコモンモード電流(☞参照)とよぶ電流を発生します。コモンモード電流は台車やレール、車体などを通じてインバーターに戻りますが、一部が「漏れ電流」となって図2のように大きな輪を描くような経路になることから、この輪から電磁波が放射されます。この漏れ電流が電磁ノイズに大きく関与しているのだろうと考えました。

電磁ノイズ予測モデルの考え方

電磁ノイズの予測には電磁界シミュレーターを用いることが一般的ですが、大きな問題があります。それは、鉄道車両を組み立てる前には図2に示す輪の面積や流れる電流の大きさがわからないことです。また、仮にこれらがわかったとしても、電磁界シミュレーターを用いるためには図面からシミュレーターへの入力データを作成する必要があるなどの手間も必要です。

鉄道車両はさまざまな装置を組み立てて製作しますが、その途中段階で電磁ノイズがどのくらいになりそうかがわかるだけでも、とても有用な情報になります。

そこで、地上子のみを対象として、鉄道車両に組み上げる前でも使える簡単な予測モデルを考えました。なお、実際には本記事で述べていることのほ

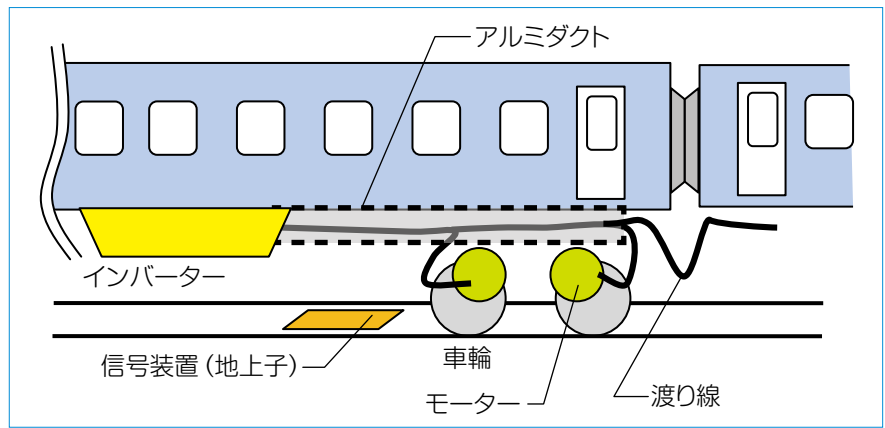


図1 鉄道車両のインバーター周辺の模式図

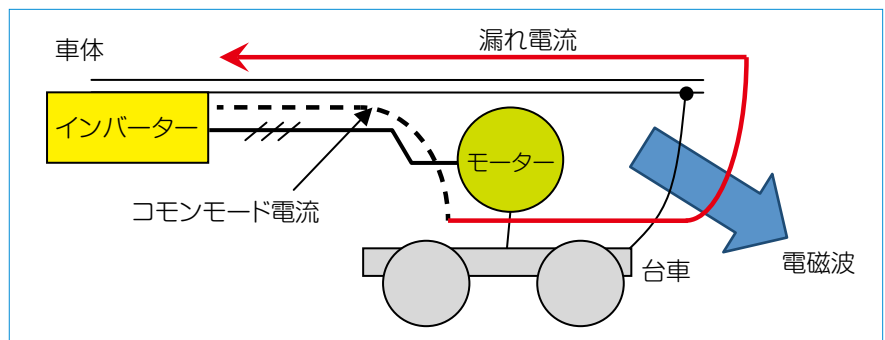


図2 インバーターからの漏れ電流

かにもさまざまな仮定を用いてモデルを導き出していますが、ここではわかりやすさを重視して、それらを省いています。

図3で漏れ電流の経路を考えてみます。モーター配線にコモンモード電流が流れて、大部分は接地線(最近の多くの車両でノイズ対策として設けられている)に戻ります。残りが漏れ電流となって車体やレールへ流れます。

電磁ノイズを知るには、先に述べたように、輪の面積と輪に流れる電流がわかればよいのですが、これらは車両が完成するまでわかりません。一方、

漏れ電流はインバーターとモーターだけあれば測定ができます。

ここで、鉄道車両が細長い物体であることを用います。輪よりも直線のほうが発生する電磁ノイズが大きめに予測されることを利用して、輪ではなく直線に漏れ電流が流れるように考えると、予測モデルは図4まで簡単になります。

地上子の大きさや形状などの情報はあるので、図4のモデルであれば、漏れ電流が信号装置にどのような妨害が発生するかを定量的に予測ができるようになります。

☞ コモンモード電流

ほとんどの交流モーターはU、V、Wの3本の電線に電流を流すことで電気エネルギーを伝達します。このときに、大地など想定していないものに電流が流れることで、3本の電線を同方向に流れる電流が存在することがあり、この電流をコモンモード電流あるいはゼロ相電流などと呼びます。コモンモード電流は回路の対称性が崩れるときに発生します。インバーターを用いた装置ではコモンモード電流が発生しやすいです。

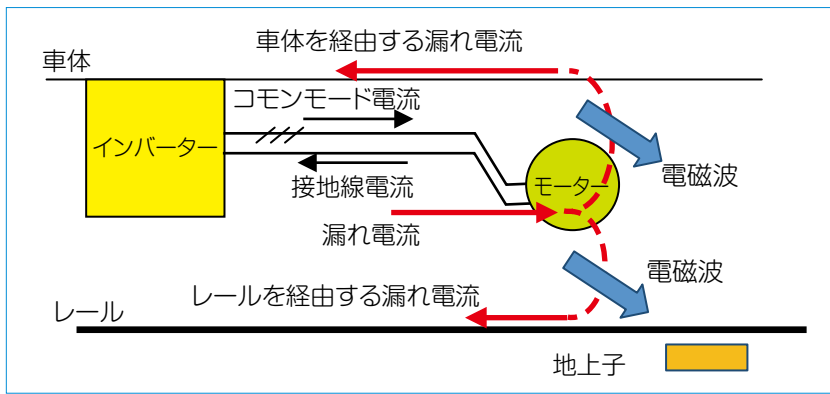


図3 漏れ電流の経路と発生する電磁波

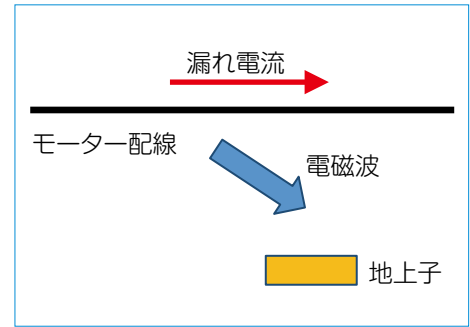


図4 簡略化した予測モデル

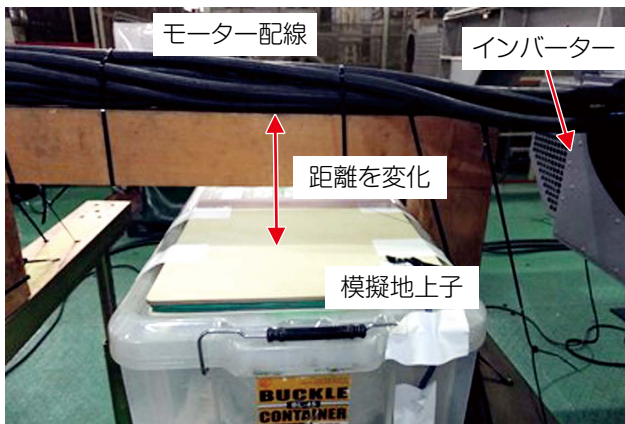


図5 予測モデル検証試験の様子

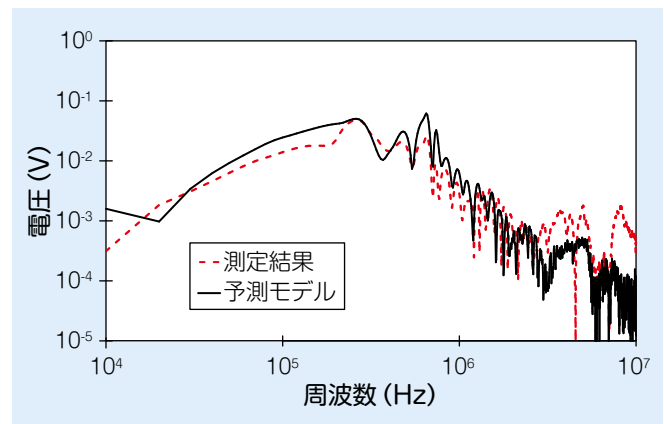


図6 試験結果

予測モデルの検証

実際の鉄道車両用インバーターとモーターを用いて予測モデルを検証した結果を示します。

図5のようにインバーター～モーター間の配線の下に模擬地上子を置いて、地上子に発生するノイズが漏れ電流から予測できるかどうか検証しました。ところどころに木やプラスチックを使っているのは、金属によって電磁ノイズが変化することを防ぐためです。分析の結果(図6)、広い周波数範囲で予測ができることが確認できました。ここでは示しません、図5の距離やメーカーが異なるインバーター装置を用いて、合計5通りの検証をした結果、いずれも図6と同じような結果が得られています。

さらに、実際の車両を用いた検証も行いました(図7)。実際の車両では

図5のように理想的な条件にはならないので、図4の予測モデルでは正確に予測することは不可能です。そこで、後述する上限値を考える上で必要になる、「予測が測定結果を下回らない」ことの確認をしました。分析の結果(図8)、鉄道信号装置で使用されている主な周波数を含む広い周波数範囲では下回らないことが確認できました。高い周波数で測定結果の方が大きくなっているのは、測定系の共振によるものと思われます。この検証も、交流電車や直流電車など4車種で検証を行い、同様の結果が得られています。

予測モデルの利用

誘導障害試験合格と等価な漏れ電流値の計算

予測モデルの利用方法について説明します。予測モデルによって、漏れ電

流から信号装置に与える影響を定量的に計算できます。この関係を逆にすると、誘導障害試験の合格に相当する漏れ電流を計算できます。これを「上限値」とよぶことにします。

鉄道車両に組み立てる前にはインバーターとモーターだけで行う、組み合わせ試験を必ず実施します。この組み合わせ試験において漏れ電流を図9のように測定し、上限値を超えなければ、誘導障害試験に合格できそうだと判断できます。実際には組み合わせ試験と組み立てた車両とでは配線の長さが異なるなど、完全には一致しないのですが、上限値の計算をできるだけ厳しい条件として計算することで対処しています。また、漏れ電流が減れば、組み立て後の車両でもノイズが減ることが期待できることから、図9の試験はノイズ対策の効果測定するツールとしても使えます。

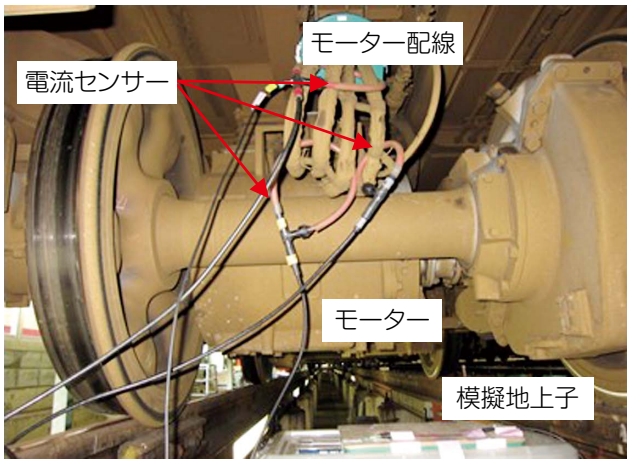


図7 実車試験の様子

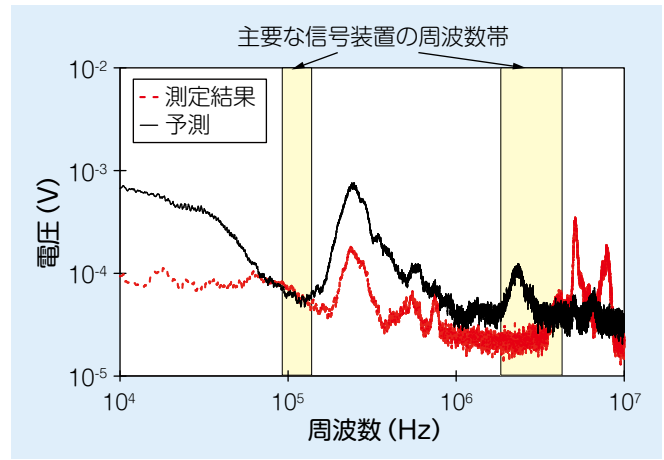


図8 実車試験結果

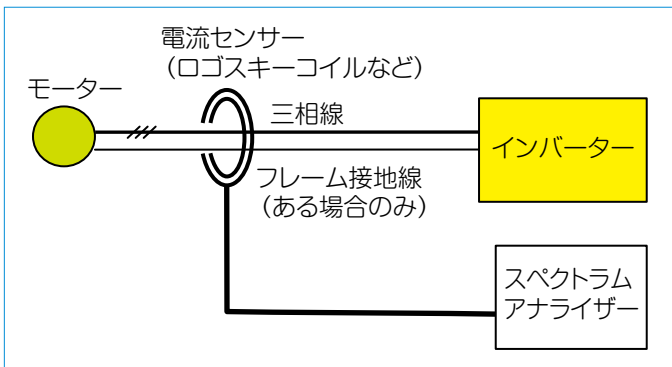


図9 試験方法

表1 実車製作への適用結果

信号種別	漏れ電流 (mA)		誘導障害試験 (1回目)
	上限値	測定値	
ATS (100 kHz 帯)	12	3.8	合格
ATS-P (1.7 MHz 帯)	373	7.4	合格
ATS-P 帯域 (3 MHz 帯)	15.9	11.4	合格

上限値の適用例

表1に実際の鉄道車両の製作過程に上限値を適用した結果例を示します。組み合わせ試験で測定した漏れ電流が上限値を下回ることが確認できたため、その状態で鉄道車両に組み上げたところ、1回目の誘導障害試験で合格することができました。

表1では組み合わせ試験での測定のみ示しましたが、完成した車両でも同様に漏れ電流を測定できます。完成した車両では配線長さが確定しているため、測定値の信頼性がより高くなります。また、組み合わせ試験と完成後の両方で測定することで、両者の電磁ノイズの傾向の違いを知ることができます。この傾向は次に製作する車両に活かすことができ、繰り返すことでノイズ対策の確かさがどんどん増していきます。

これまでは、地上で測定した値でしか判断材料がなかったため、対策が本当に有効なのか、たまたま合格しただけだったのかが見分けられなかったのですが、漏れ電流という車両で測定できる指標ができたことで、対策の効果比較ができるようになりました。さらに、車種別の傾向も判明するようになります。

おわりに

電磁ノイズの研究は、研究の産物が直接的に利益と結びつくことが少なく研究の結果、電磁ノイズ対策により製作コストが増加することの方が多くなります。同じノイズでも振動や騒音は体感できますが、電磁ノイズは体感することもできません。

そのため製作現場では、コスト最小で規制をクリアできる電磁ノイズ対策

を試行錯誤するような原始的な方法が、多くの分野で行われています。ところが、鉄道ではインバーターやモーター、信号装置の組み合わせパターンが多数あるため、画一的な対策ですべてを満たすことは困難な状況です。

ここで紹介したような事前に予測する手法は、組み合わせ試験での作業は増えてますが、鉄道車両の製作工程が円滑になり、試験関係者の負担軽減にも貢献できるものと考えています。[RRR]

文献

- 1) 廿日出悟, 山中章広: 鉄道車両用インバーターの直達ノイズ事前確認試験の構築, 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), Vol.138, No.10, pp.766-776, 2018