

インバータ照明ノイズが鉄道無線に与える影響の評価法

Evaluation Method of Influence of Inverter Lighting Noise on Railway Communications

稲田 勉* ・ 吉田 基樹* ・ 古林 大典** ・ 森田 智彦*
Tsutomu Inada Motoki Yoshida Hironori Kobayashi Tomohiko Morita

省エネルギーであるインバータ照明器具の駅ホームへの普及を図るため、照明器具から発生する電磁ノイズが鉄道無線（IR方式）に与える影響について、電波暗室での検討に加え、現場における検証実験および官能評価を行い、S/N比で定量的に評価する方法を開発した。その結果、電磁ノイズの周波数が鉄道無線の受信周波数と完全に合致する場合でも鉄道無線に与える影響はきわめて軽微であること、また電磁ノイズの周波数を管理することで鉄道無線にまったく影響を与えないことを確認した。

To increase the potential applications of energy-efficient inverter lighting fixtures on railway station platforms, the Influence of electromagnetic noise generated by lighting fixtures to the railway communication (IR method) has been studied in the semi anechoic chamber as well as by on-site verification. We have developed a quantitative evaluation method using S/N ratios, which showed the effect on railway communications to be extremely small, even if the frequency fully coincides with the receiving frequency of railway communications. We also confirmed that any negative effect on railway communications can be completely eliminated by controlling the electromagnetic noise frequency from lighting fixtures.

1. ま え が き

インバータ方式の照明器具（以下、インバータ照明器具と記す）は、銅鉄式安定器を使用した照明器具に比べて点灯効率がよく省エネルギーであることから、改正省エネルギー法の対象となる大型施設を始め、多くの施設で採用されている。しかし鉄道関連施設においては、駅構内や改札口等にはインバータ照明器具が採用されているが、駅ホームではインバータ照明器具から発生する電磁ノイズ（以下、インバータノイズと記す）が鉄道無線と干渉するおそれがあるため、採用されるケースはまれであった。また、その影響の評価方法についても対象となるインバータ照明器具を駅ホームに施工して通話に問題がないことを確認する程度にとどまっており、事前の検討はなされていなかった。しかし、省エネルギーの観点から駅ホームへの導入が望まれており、その対応のためにはインバータノイズが鉄道無線に与える影響を事前に定量的に把握する必要がある。

そこで電波暗室において、インバータノイズによって列車アンテナへ誘導されるノイズ（以下、誘導電圧と記す）の傾向を把握して現場測定のための基礎データを収集する

とともに、実際の現場で誘導電圧の測定および実聴による官能評価を行い、インバータノイズが鉄道無線に与える影響を定量化する。

2. 電波暗室における予備測定

2.1 駅ホームを想定した測定配置

鉄道無線には、超短波を使用したSR（Space Radio）方式（150 MHz帯、400 MHz帯）と誘導無線を使用したIR（Inductive Radio）方式（kHz帯）の2種類が用いられている。今回はインバータ照明器具の点灯周波数に近く、干渉の可能性が高いと考えられるIR方式の鉄道無線について検討を行う。図1にIR方式の鉄道無線の構成を示す。基地局送信時は誘導線から送信され、列車アンテナで受信される。また移動局送信時は、サードレールから送信され、誘導線で受信される構成となっている。なお、列車アンテナおよび誘導線は磁界成分を受信する構造となっている。

移動局に与える影響を定量化するため、駅ホームにおけるインバータ照明器具と列車アンテナとの相対的な位置関係を電波暗室で再現する。列車アンテナには、列車の上部と下部にアンテナが取り付けられる上下アンテナ（図2）

* パナソニック電工解析センター（株） Panasonic Electric Works Analysis Center Co., Ltd.

** パナソニック電工施設照明（株） Panasonic Electric Works Facilities Lighting Co., Ltd.

と、列車の両側面にアンテナが取り付けられる車側アンテナ（図3）がある。

インバータ照明器具と列車アンテナとの位置関係については、駅ホームの設計図面をもとに、想定される範囲で最短距離に設定する。今回の実験には一般に市販されているインバータ照明器具（調光機能付）を用いる。また、このインバータ照明器具のノイズレベルは電気用品安全法の許容値を満たしている。一連の実験において、インバータノイズの周波数は鉄道無線の受信周波数と完全に合致した場合を想定し、調光機能により鉄道無線の受信周波数に同調させている。

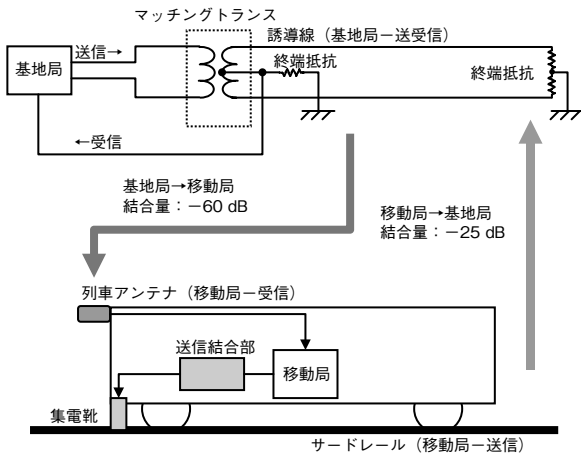


図1 IR方式の鉄道無線システムの構成

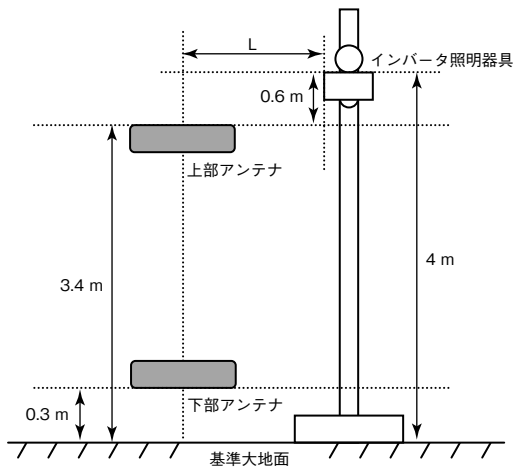


図2 上下アンテナの測定配置

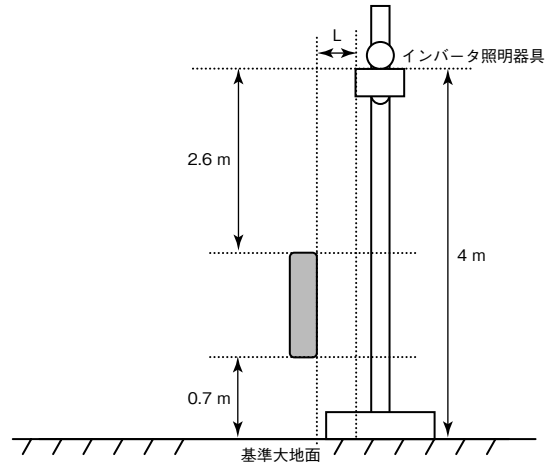


図3 車側アンテナの測定配置

なお、基地局については現場での誘導電圧の測定結果が環境ノイズレベル（13 dB μ V）以下であったことから、鉄道無線への影響は無視できる（表1）。

表1 基地局の影響確認時の試験条件

	試験条件 1	試験条件 2
照明器具点灯台数	5 台	2 台
誘導線との離隔距離	1 m	誘導線に密着
誘導電圧	13 dB μ V（環境ノイズ）	13 dB μ V（環境ノイズ）

2.2 誘導電圧の距離減衰特性把握

予備測定では、駅ホームにおける列車アンテナとインバータ照明器具との距離が最短となる位置での測定に加え、離隔距離の影響も把握する。水平方向の離隔距離 L は、上下アンテナの場合はインバータ照明器具端からその中央まで、車側アンテナの場合はその端面までの距離でそれぞれ規定する。上下アンテナは上部および下部のアンテナそれぞれについて測定を行う。また、測定結果は測定に使用するインバータ照明器具と駅ホームに設置されるインバータ照明器具とのレベル差（-4.2 dB）を補正している。なお、すべての測定には平均値検波を用いている。

上下アンテナの測定結果を図4、車側アンテナの測定結果を図5に示す。

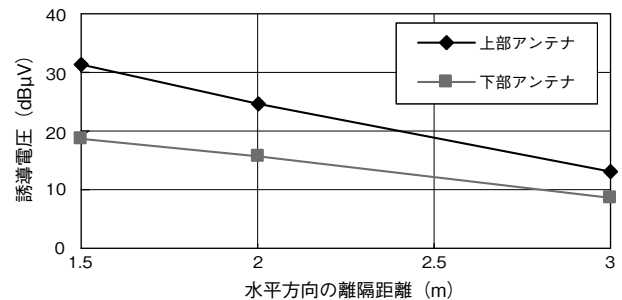


図4 上下アンテナの距離減衰特性

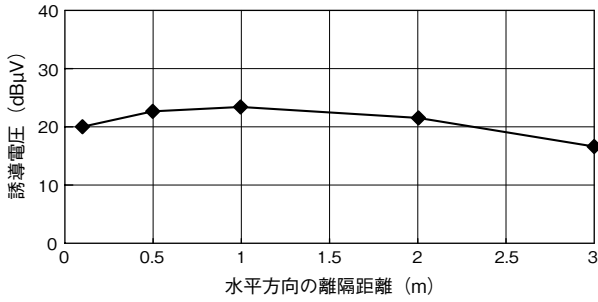


図5 車側アンテナの距離減衰特性

上下アンテナの場合、 L が1.5 mのときに上部アンテナで誘導電圧が最大(31.6 dBμV)となる。一方、車側アンテナの場合、 L が1 mのときに誘導電圧が最大(23.5 dBμV)となる。したがって上下アンテナへの影響が大きいことから、以後は上下アンテナについてのみ検討を行う。

車側アンテナへの誘導電圧が低い理由の一つとして、インバータ照明器具との位置関係が直交しているため、磁界の影響を受けにくい(磁束が交錯しにくい)ことが考えられる。ただし、車側アンテナのほうが L による依存性が小さく、 L が3 mのときは誘導電圧が上下アンテナを上回っている。これは車側アンテナではアンテナ受信部の指向性が等方向性となることから、離れた場所の磁界の影響を受けやすいためと考えられる。

2.3 設置台数依存性

前節ではインバータ照明器具1台に対する誘導電圧を測定したが、実際の駅ホームには100台程度設置される場合もあり、設置台数による影響を把握する必要がある。そこで、インバータ照明器具を9台設置して点灯台数を1台から9台まで変化させ、点灯台数ごとの誘導電圧を測定する。また前節と同様、図6に示す L を3 mまで変化させ、それによる依存性も把握する。測定はもっとも影響の大きい上部アンテナについて行う。測定の概要を図7に示す。基準大地面からインバータ照明器具までの高さは、大地との結合を避けるため0.8 mとする¹⁾。上部アンテナは高さ1.4 mに設置し、インバータ照明器具との相対的な位置関係については、前節の試験と同様とする。またインバータ照明器具の電源には、電源のインピーダンスを管理するためにLISN (Line Impedance Stabilization Network: 電源インピーダンス安定回路網)を挿入する。

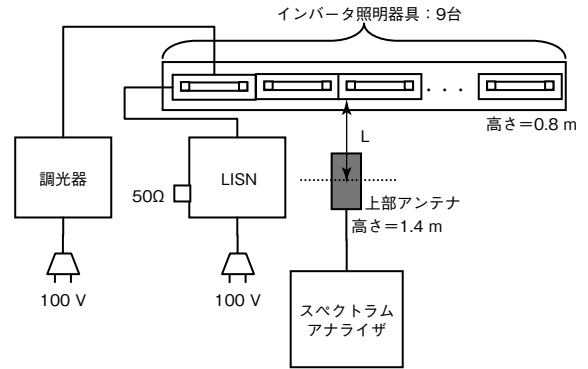


図6 点灯台数による傾向把握測定配置

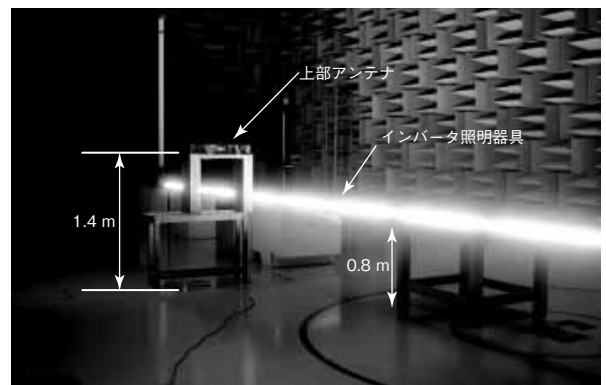


図7 測定の概要

測定結果を図8に示す。いずれの離隔距離 L においても、点灯台数による誘導電圧の変動はみられない。これは、列車アンテナの指向性が近傍の磁界の影響をもっとも受けやすいことに加え、それぞれのインバータノイズの位相が相対的にランダムな関係にあることから、平均値検波による測定ではインバータノイズの波の重ね合せによる増減は相殺されるためであると考えられる。なお、各点灯台数ごとに発生するピークの周波数が異なるため、列車アンテナの感度の差(最大1.2 dB)を補正している。

この結果から、設置台数の増加に伴う誘導電圧の上昇はないことがわかる。

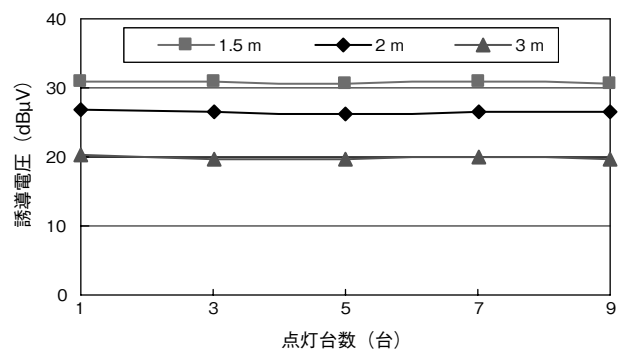


図8 点灯台数による誘導電圧の変動

2.4 影響度の推定

一連の電波暗室での測定結果をもとに、駅ホームにおける誘導電圧のワーストケースについて推定を行う。最大誘導電圧は図4から、上下アンテナ時の31.6 dB μ Vである。この電圧は、無線機の標準的なスケルチレベルである48 dB μ V（終端値）と比較して15 dB以上のマージンがあるため、インバータノイズによる雑音が通話に混入する可能性は低いといえる。

3. 現場環境での検証実験

3.1 移動局の入力端子における誘導電圧測定

現場環境での検証実験を行うにあたり、駅ホームと構成が同等の検車場を使用して測定環境を設定する。検車場での測定結果については、測定に使用するインバータ照明器具と実際に駅ホームに設置されるインバータ照明器具とのレベル差の補正（-4.2 dB）に加え、検車場と駅ホームとの天井の高さの補正（-3.7 dB）を行っている。なおこの補正值は、電波暗室で検討した別の測定から導出している。

列車については、インバータノイズの影響が大きい上下アンテナ搭載車両を用意する。図9に測定時の構成を示す。測定に使用するインバータ照明器具の設置台数は、電波暗室での予備測定結果（図8）から影響はないことを確認しているが、ここでは5台とする。なお、列車アンテナとインバータ照明器具との位置関係については、駅ホームにおける最短距離に設定する。移動局の出力端子と測定器との接続には専用の測定治具を用いる。この測定治具は移動局と測定器のインピーダンスを整合させるためのもので、誘導電圧の測定値にはこの測定治具の変換ロス（20 dB）を補正している。また、スペクトラムアナライザでの測定と併せて、S/N比を把握するためにキャリアレベルの測定に使用されている電界強度計でも測定を行う。

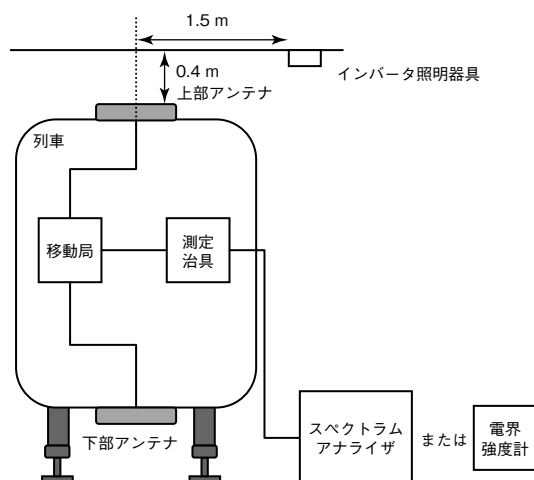


図9 移動局の誘導電圧測定時の構成

表2に測定結果を示す。現場環境でも予備測定時と同様に点灯台数の違いによる誘導電圧の増加はみられず、上下アンテナ搭載車両の最大誘導電圧はスペクトラムアナライザで36.1 dB μ Vである。また、今回の測定ではスペクトラムアナライザと電界強度計の測定値の差が一定（約3 dB）であることから、測定器間の測定値の補正も可能である。なお測定値の差は、検波方式の違い（電界強度計は尖頭値検波）によるものと考えられる。

表2 点灯台数による誘導電圧の変動

点灯台数 (台)	上下アンテナ搭載車両	
	スペクトラムアナライザ	電界強度計
1	36.1 dB μ V	39.1 dB μ V
3	36.1 dB μ V	39.1 dB μ V
5	36.0 dB μ V	39.1 dB μ V

3.2 電波暗室の測定値との比較

電波暗室と検車場での測定結果を比較し、電波暗室での測定結果の妥当性を評価する。表3にスペクトラムアナライザによる測定結果を示す。両者の差は4.5 dBであるが、これは事前に列車アンテナ2台の受信感度を測定したところ、約6 dBの差異がみられたことから、列車アンテナの個体差が主原因であると考えられる。

したがって、現場環境を模擬した電波暗室で誘導電圧の予測が可能である。

表3 電波暗室と検車場の誘導電圧の比較

測定環境	推定誘導電圧 (補正済)	両者の測定値の差
電波暗室	31.6 dB μ V	4.5 dB
現場 (検車場)	36.1 dB μ V	

3.3 通話へのノイズ混入度の評価

通信に必要なS/N比を求めるため、次の手順で官能評価を行う。①信号所から音声の入力を行い、通信機器室でキャリアレベルを可変する。②インバータ照明器具を消灯させた状態で音声を実聴する。③その後、インバータ照明器具を点灯させて実聴音声の受信状態の劣化度合を5段階で評価する。なお官能評価の順番は聴覚の慣れによる影響を排除するため、S/N比を7 dBから28 dBの範囲でランダムに設定する。また被験者は、普段の業務で通話にかかわる運転手(A)、保安情報区通信担当(B)、検車場通信担当(C)の3名を選出している。

表4に音声の劣化度合の評価表、表5に評価結果を示す。被験者3名全員の評価結果が劣化度合レベル3の「気になるが邪魔にならない」を満足するのに必要な最小のS/N比は22 dBである。この結果から、S/N比を22 dB以上確保することで通信業務への影響を小さくできることがわかる。

表4 インバータ照明器具による音声の劣化度合

レベル	5	4	3	2	1
劣化度合	妨害がわからない	わかるが気にならない	気になるが邪魔にならない	邪魔になる	非常に邪魔になる

表5 官能評価結果

S/N比 (dB)	被験者 A	被験者 B	被験者 C
7	1	1	1
10	3	2	2
13	1	1	1
16	3	2	3
19	2	2	2
22	4	3	3
25	4	3	3
28	4	4	3

4. 影響度の推定

4.1 キャリアレベルとの比較による影響度の推定

移動局に与える影響度を図10に示すキャリアレベルの分布から推定する。通話の際にレベル3に必要なキャリアレベルは、電界強度計で測定した誘導電圧 39.1 dBμV に通話に必要な S/N 比 22 dB を加えて 61.1 dBμV 以上となる。

この値を図10に当てはめると、95%の駅ホームでこの要件を満たしている。このため、インバータノイズが鉄道無線の受信周波数に合致する場合でも、レベル2以上の妨害が生じる可能性は低いといえる。残る5%のキャリアレベルの低い駅ホームで生じる影響については次節で述べる。

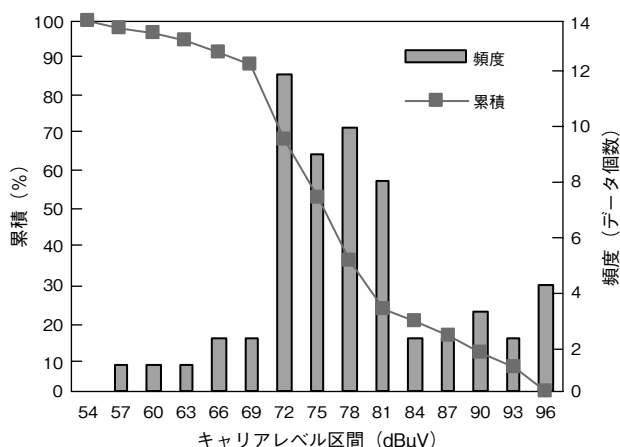


図10 キャリアレベルの分布

4.2 鉄道無線の受信周波数と合致しない場合の影響

これまでの検討では、インバータノイズが鉄道無線の受信周波数と合致する場合を想定し、周波数を同調させて影響度の評価を行ってきたが、実際には両者の周波数が完全に合致することはきわめてまれである。そこでインバータ

ノイズの周波数を調整していないインバータ照明器具を用いて実聴評価を行い、その結果を表6に示す。なお、インバータ照明器具の設置台数は3台で、すべて点灯させる。

この結果、インバータ照明器具を列車アンテナに接近させた条件でも実聴音声の状態に変化はみられず、インバータノイズによる影響はない。これは、無線機の受信特性が受信帯域から 10 kHz ずれると感度が 60 dB 低下するためであり、インバータノイズの周波数が鉄道無線の受信周波数と合致しない場合にはノイズの混入が発生しない。

また、車側アンテナ搭載車両では多少のノイズの混入が生じるが、インバータ照明器具消灯時も同様の混入がみられることから、環境ノイズによるものといえる。誘導電圧の測定も併せて実施し、上下アンテナ搭載車両は 14.8 dBμV、車側アンテナ搭載車両は 26.0 dBμV であり、ともにすべての条件で環境ノイズレベル以下であることを確認している。

表6 実聴結果

アンテナ	実験条件	照明器具消灯時	照明器具点灯時		
			被験者 A	被験者 B	被験者 C
上下アンテナ	駅ホーム想定配置	ノイズ混入なし	変化なし	変化なし	変化なし
	照明器具接近時	ノイズ混入なし	変化なし	変化なし	変化なし
車側アンテナ	駅ホーム想定配置	ノイズ混入あり (環境ノイズ)	変化なし	変化なし	変化なし
	照明器具接近時	ノイズ混入あり (環境ノイズ)	変化なし	変化なし	変化なし
	ランプ面接近時	ノイズ混入あり (環境ノイズ)	変化なし	変化なし	変化なし

5. あとがき

省エネルギーであるインバータ照明器具の駅ホームへの普及を図るため、照明器具から発生する電磁ノイズが鉄道無線 (IR 方式) に与える影響について、電波暗室での検討に加え、現場での検証実験および官能評価を行い、S/N 比で定量的に評価する方法を開発した。

今回 95% の駅では、インバータノイズの周波数が鉄道無線の受信周波数と完全に合致する場合でも、通話に必要な S/N 比 (22 dB) は十分確保できることがわかった。また、インバータ照明器具の周波数を鉄道無線の受信周波数から 10 kHz 以上ずらすことで、鉄道無線にまったく影響を与えないことを確認した。したがって残り 5% の駅についても、電磁ノイズの周波数を管理することで鉄道無線に与える影響を抑えることが可能である。以上の結果から、インバータ照明器具が鉄道無線に与える影響はきわめて軽微であることが判明した。

今回開発した評価法を適用することで、他のインバータ照明器具についても鉄道無線へ与える影響の定量化が可能である。今後は省エネルギーであるインバータ照明器具が

駅ホームへ普及していくことが期待される。

*参考文献

- 1) 森田 智彦, 難波 嘉彦, 木田 智之, 平田 勝弘: 有限要素法によるインバータ照明器具の放射ノイズモデリング, 松下電工技報, Vol. 55, No. 4, p. 11-16 (2007)

◆執筆者紹介



稲田 勉

パナソニック電工解析センター(株)



吉田 基樹

パナソニック電工解析センター(株)



古林 大典

パナソニック電工施設照明(株)



森田 智彦

パナソニック電工解析センター(株)