

# 施設用照明器具の構造を考慮した伝導ノイズシミュレーションモデル

Analytical Modeling of Conducted Emissions Taking Structure of Non-Residential Lighting Instrument into Consideration

木田 智之\* · 難波 嘉彦\* · 光武 義雄\*\* · 平田 勝弘\*\*\*  
Tomoyuki Kida · Yoshihiko Namba · Yoshio Mitsutake · Katsuhiko Hirata

施設用インバータ照明器具における雑音端子電圧などの伝導ノイズをシミュレーションする3次元有限要素法を用いた解析モデルにおいて、基準周波数発生器をノイズ源として模擬ランプを含むランプ側へ信号を送信し、器具内の電源線へ誘導されるコモンモード電流を伝導ノイズとして算出するシミュレーションモデルを開発した。

本モデルにおいては、器具構造に起因する共振周波数近傍での実測値との差異が約4 dBとなり、25 MHzでの共振点も含め、実測値と解析値の傾向がほぼ一致することからその有効性が確認できた。

By means of the 3D finite element method, a simulation model has been developed using the numerical model of conducted emissions from a non-residential inverter-driven lighting fixture. The Comparison Spectrum Transmitter is assumed to be the emission source, sending the signal to the lamp wire side including the modeled lamp, and calculating the common mode current induced in the fixture's power source wiring as conducted emissions. This model produces a difference of approximately 4 dB from the measured value near the resonance frequency derived from the instrument's structure, and indicates a similarity between the measured value and calculated value including the resonance point at 25 MHz, thereby confirming the validity of the model.

## 1. ま え が き

電気・電子機器の高周波化に伴い、そこから放出される不要な電磁ノイズが問題になっている。このノイズのうち、電源線を経由して、ほかの機器に誤動作をもたらすものを伝導ノイズまたは雑音端子電圧と言う。身近な機器である照明器具において多用されるインバータ点灯方式<sup>1)</sup>は、旧来の点灯方式よりも比較的大きいノイズを発生しやすい。そのため、設計段階で発生量を予測するためのシミュレーション技術の確立が求められている。

すでにインバータ回路を含む機器における伝導ノイズのシミュレーション技術としては、伝導ノイズをコモンモードとディファレンシャルモードの成分に分離して測定するモード別の実測値とノイズの伝搬経路全体のインピーダンス値を用いて、ノイズ対策効果を予測する手法<sup>2)</sup>が提案されている。しかし、この手法では実測値が必要なため、試作品のない設計段階で伝導ノイズの予測はできない。また、伝導ノイズの解析値と実測値には10 dBの差異がみられる。

そこで筆者らは、図1の施設用照明器具について10～30 MHzの帯域での器具形状の変更が伝導ノイズに及ぼす影響を実験的に調べ、同帯域における器具形状の変更による影響を予測するシミュレーションモデルを開発した。そのシミュレーション結果と実測値を比較検証し、設計段階で活用可能なシミュレーション法であることを確認したので報告する。

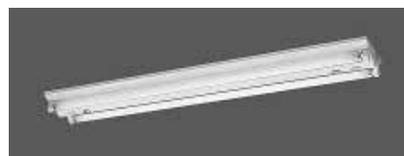


図1 施設用照明器具

## 2. 検討モデル

図2に伝導ノイズの測定系の構成を示す。伝導ノイズの測定には、電源インピーダンス安定化回路網 (Line

\* (株) 松下電工解析センター Matsushita Electric Works Analysis Center Co., Ltd.

\*\* 先行技術開発研究所 Advanced Technologies Development Laboratory

\*\*\* 大阪大学大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Osaka University

Impedance Stabilization Network：以下、LISNと記す)を用いる。LISN内部の回路を図3に示す。図3における点線部から左側の回路は、ノイズの測定に直接関係がない部分であるため今回の解析モデルには含まない。

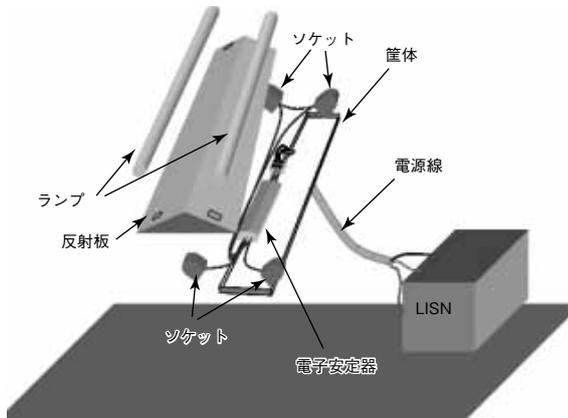


図2 富士型器具の伝導ノイズ測定系

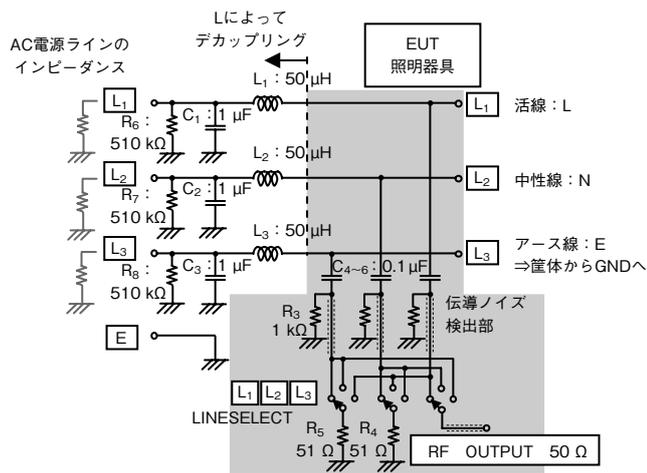


図3 LISNの等価回路

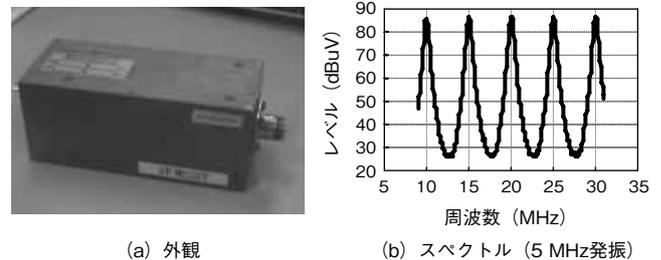
### 3. 伝導ノイズ解析におけるモデル化

#### 3.1 ノイズ源の設定

主なノイズ源は、器具に搭載されるスイッチング電源を含む電子安定器である。電子安定器は入出力における2端子対、および底面の電気的接触から成る5端子を有する。しかし、各端子での出力の周波数特性と伝導ノイズとの関係は一概に定義できないことから、電子安定器をノイズ源としてモデル化することは困難である。そこで、主たるノイズ源と考える電子安定器の代わりに、端子数を減らした簡易ノイズ源を入力側または出力側のいずれかの配線に接続する。

簡易ノイズ源としては、図4に示す基準周波数発生器(Comparison Spectrum Transmitter：以下、CSTと記す)を用いる。CSTは、出力端子から周波数ごとに規格化され

た強さの信号を発生するため、この信号をノイズ源として用い、伝導ノイズの予測を行うものとする。また、この際のランプ負荷として、消費電力分の抵抗素子を含む直径1.6 mmの模擬ランプ線を用いる。



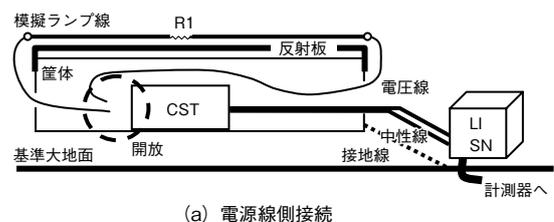
(a) 外観 (b) スペクトル (5 MHz発振)

図4 CSTの外観およびスペクトル

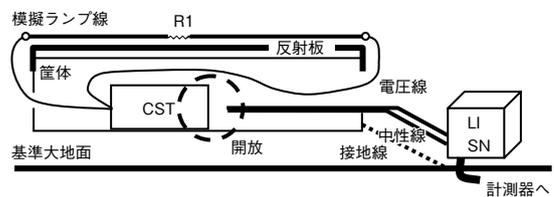
#### 3.2 コモンモード電流の伝搬経路の推定

高周波帯域の伝導ノイズにおいて支配的であるコモンモード電流の伝搬経路としては、電子安定器の入力側(電源線側)から直接電源線に重畳される場合と、電子安定器の出力側(ランプ線側)からランプ線に流れる電流が、器具筐体表面に誘導電流を生じ、この電流が電源線へ浮遊容量を経て伝搬する場合の二つのケースが想定される。

そこで、最初に実測により確認を行う。図5に示すようにCSTを電源線側またはランプ線側に接続し、接続していない側は開放した測定系における電源線端の電圧を測定して、コモンモード電流の伝わり方について先記の仮説を検証する。



(a) 電源線側接続



(b) ランプ線側接続

図5 ノイズ源の接続方法

測定サンプルとしては図6に示す形状の異なる3種の照明器具を用いる。その実測結果を図7に示す。

図5(a)に示したノイズ源を電源線側に接続した場合、図7(a)に示すように発振周波数信号のうち25 MHzにおけるピーク値で6 dBの差異が認められるのみであるが、

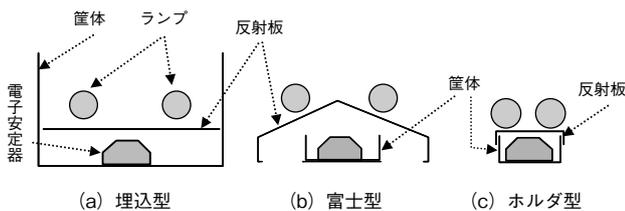
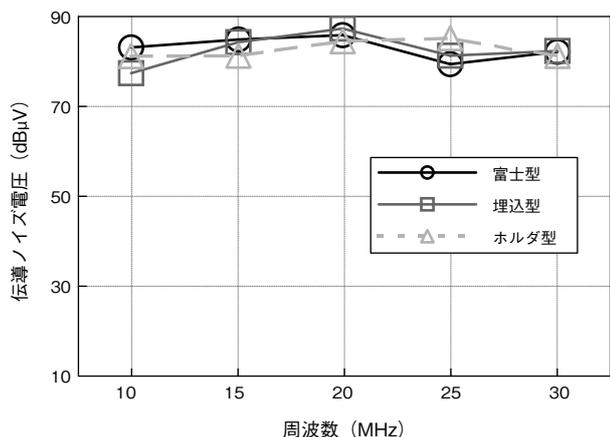
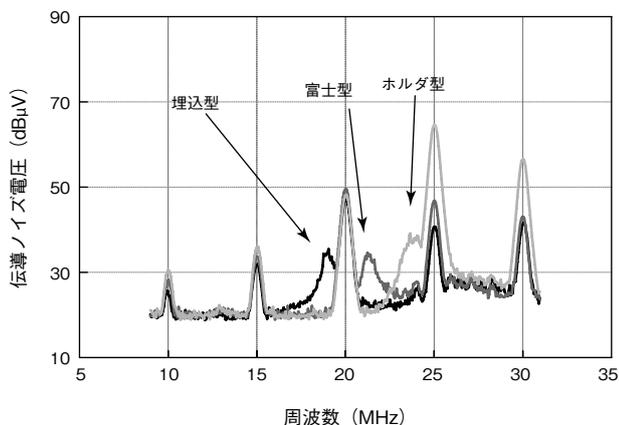


図6 各種サンプル器具の断面構造



(a) 電源線側接続時のピーク電圧



(b) ランプ側接続時の周波数特性

図7 CSTを搭載した各器具における伝導ノイズ

図5 (b) のようにノイズ源をランプ線側に接続した場合は、図7 (b) のように25 MHzにおいては約22 dBの差異が、さらに発振周波数以外の固有共振点にも差異がみられる。したがって、器具構造の差異による伝導ノイズへの影響は、図5 (b) に示すランプ線側のノイズ伝搬経路のほうが大きく、十数dBの差が確認される。

図7 (b) に現れているCSTの発振周波数を除く共振点は、器具を構成する導体間の浮遊容量や導体固有のインダクタンスによるものと考えられる。また、各器具の構造に起因すると考えられるノイズ源ごとの共振周波数を表1に示す。表1において、電子安定器の欄はCSTの代わりに各器具へ電子安定器を搭載した場合の共振周波数を示し

ている。これより各ノイズ源における器具違いでの共振周波数の高低傾向は一致していることがわかる。この傾向は、形状の差異が反映されたためと考えられる。

表1 各器具にみられる固有の共振周波数 (MHz)

器具タイプ	CST	電子安定器
埋込型	19.0	22.0
富士型	21.0	24.0
ホルダ型	24.5	26.0

以上のことから、器具構造に起因する伝導ノイズの差異を解析するモデルとしては、ノイズ源をランプ線側に接続し、電源線側はインバータの動作中インピーダンスの実測値を参照することにより設定した負荷で接続する簡易モデルを用いる。

#### 4. 伝導ノイズ解析

CSTをノイズ源とする器具内外の構造を含めた従来の有限要素法解析モデル<sup>3)</sup>では、電子安定器内の回路構成にかかわらず伝導ノイズに対する器具の影響を予想することができる特徴を有している。しかし10~30 MHzを5 MHz間隔の5点で計算する現状の解析法による結果では、図8に示すように実測値に対して10 dB以上の差が生じる場合があり、十分な精度が得られないという問題がある。その要因と考えられる項目を複数挙げ、その検証を行う。

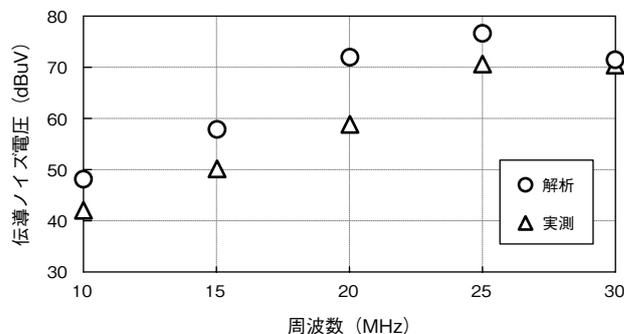


図8 従来モデルの解析値と実測値の比較

#### 4.1 従来モデルの問題に対するアプローチ

近年の実験および解析結果より判明した、解析精度向上のための要因として、以下の項目が挙げられている。

- (1) 検出部であるLISNの筐体形状
- (2) 実測できない電磁波ノイズ源
- (3) 導体厚みの影響
- (4) 器具内配線の配置による影響

これらの要因を考慮して次のようにモデルの改良を行う。

(1) については、従来モデルではLISN実機の形状は伝導ノイズ算出への影響が小さいと判断し、鋼製の筐体や内

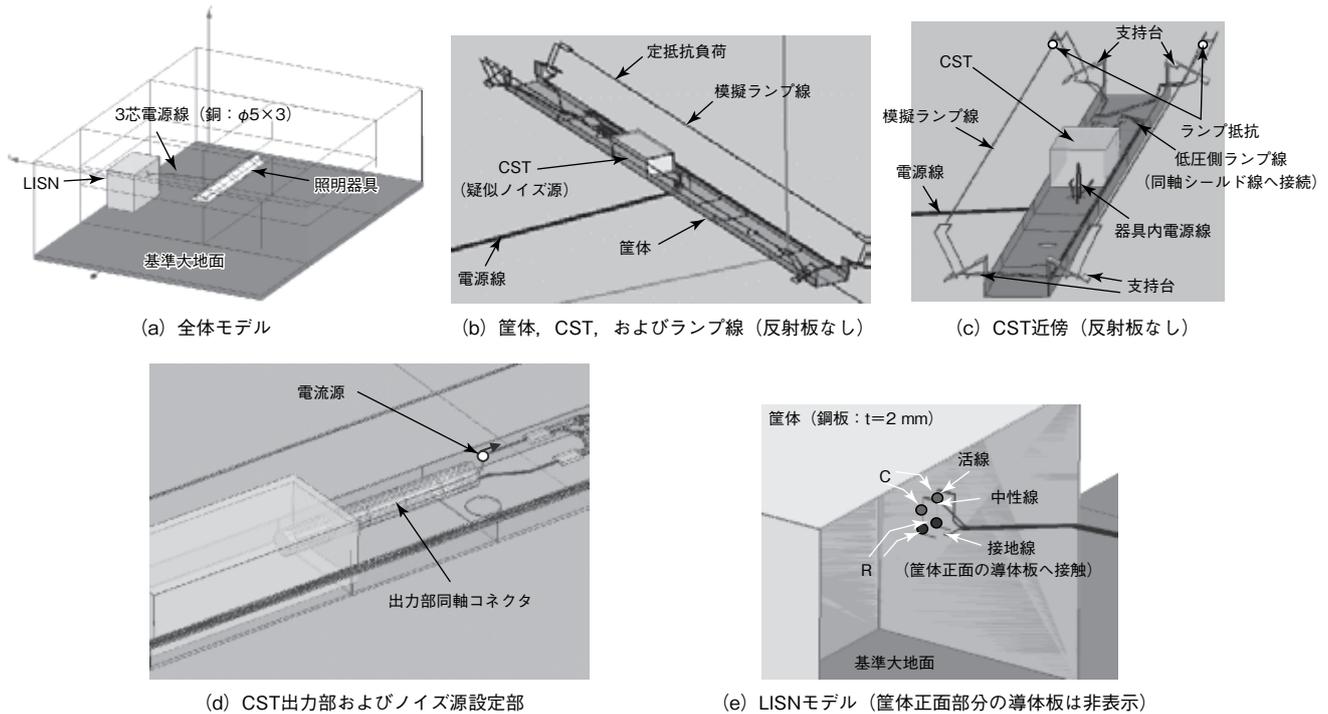


図9 富士型器具伝導ノイズの解析モデル

部の配線をモデルに反映していなかったが、本モデルではコモンモード電流を高精度に再現するため、LISNの筐体をモデル化し、かつ電源線とLISN筐体板の間に検出部を設ける。なお検出方法は図9(e)に示すLISN内の抵抗部の境界条件(平面)Rにおける、電界の垂直方向成分を積分することで伝導ノイズを算出する。

(2)については、ノイズ源として従来の電磁波源よりも実際の測定値を直接入力できる電流源を用い、図9(d)に示す位置を設定して図4(b)に示したCSTの発振周波数10~30 MHzまでのピーク値(約0.26 mA)を5 MHzごとに入力、算出する。

(3)については、従来のモデルでは厚みをもたない境界条件で設定したが、本モデルではLISN筐体および基準大地面の厚みをもたせることで導体に誘導されるコモンモード電流を考慮可能にする。

(4)については、解析モデルにおける(ランプ線と筐体のような)導体間の接地や離隔距離を厳密に設定する。

#### 4.2 解析結果

今回の解析モデルによる、富士型モデルの中性線と基準大地面間における伝導ノイズの解析値と実測値の比較を図10に示す。周波数の全帯域にわたって解析と実測との差異は5 dB未満であり、25 MHzの共振点も含めて実測と解析値は良く一致していることがわかる。

#### 4.3 器具内外の電流分布および付近の電磁界分布

前節で述べた解析モデルの妥当性について、渦電流や変

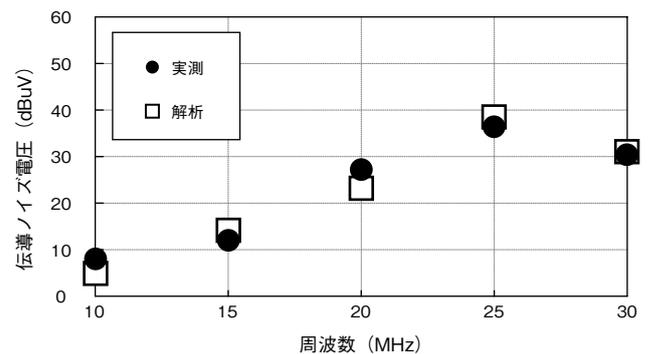
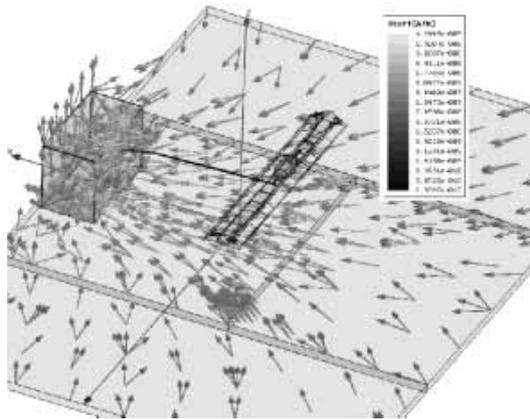


図10 富士型器具モデル伝導ノイズの解析値と実測値

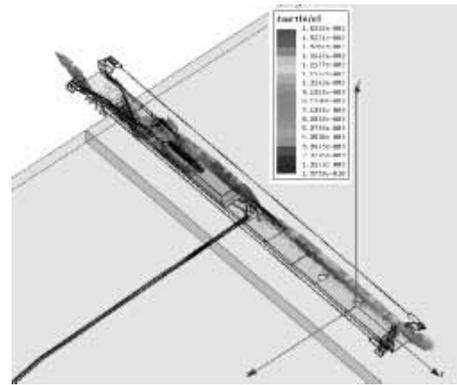
位電流を伴うコモンモード電流の伝搬が計算できているかを検討するため、モデルの可視化を行う。一例として、器具内外の電流分布および器具周囲の電磁界分布を確認する。コモンモード電流の経路としては、①模擬ランプ線から反射板に誘導され、反射板と電氣的に接触する支持台を介して筐体へ流れ、筐体からノイズ源へ戻る成分と、②反射板や筐体から浮遊容量を経るか、あるいは器具自体が片端開放型アンテナとして放射し、基準大地面が受けるエネルギーがLISNに伝わり、電源線へ流れて器具に帰還する成分とが考えられる。

図11は電流分布の解析結果を、図12は主たる放射源と考えられる模擬ランプ線を含む高さの平面上における電磁界を示している。なお、図11(a)は基準大地面およびLISN筐体の表面電流分布を、図11(b)は器具内部の電流分布を示す。

図11(a)および図12から、器具が生じる電磁界に

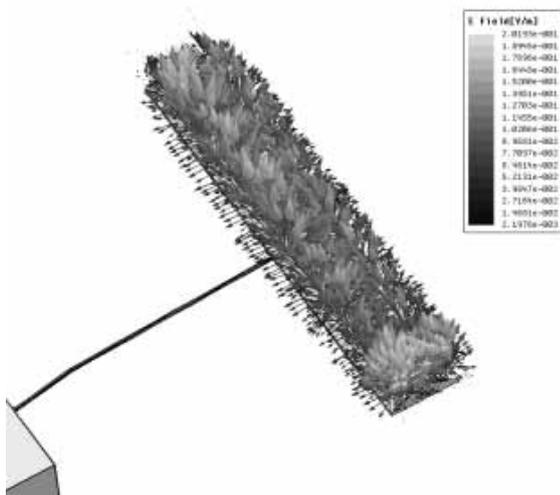


(a) 基準大地面およびLISN筐体の表面電流分布

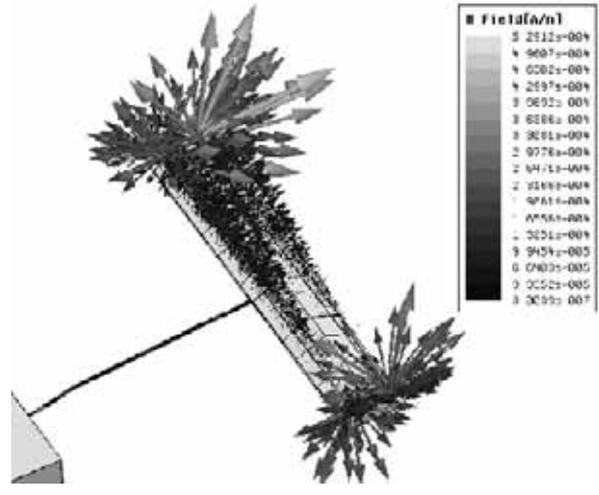


(b) 器具内部の電流分布

図11 器具内外の電流分布解析結果 (30 MHz)



(a) 電界分布



(b) 磁界分布

図12 器具上方での電磁界分布解析結果 (30 MHz)

より基準大地面の表面上にコモンモード電流が誘起され、LISN 筐体および電源線を経由して、器具へ帰還する経路①を取ると考えられる。図 11 (b) では、器具内の低压側ランプ線が引き回されている側の筐体表面上にコモンモード電流が集中している状況がみられる。

また図 12 (b) においては、反射板の開口部における磁界がより強く放射している状況がみられる。これはランプ線から模擬ランプ線のフィラメント部分に流れる電流と反射板の開口部のエッジに誘導されたコモンモード電流による再放射の影響が考えられる。さらに、電流源に近い高压側で磁界強度が大きい傾向がみられる。

## 5. あとがき

施設用インバータ照明器具における雑音端子電圧などの伝導ノイズをシミュレーションする 3 次元有限要素法を用いた解析モデルにおいて、基準周波数発生器をノイズ源と

して模擬ランプを含むランプ線側へ信号を送信し、器具内の電源線へ誘導されるコモンモード電流を伝導ノイズとして算出するシミュレーションモデルを開発した。

本モデルにおいては、器具構造に起因する共振周波数近傍での実測値との差異が約 4 dB となり、25 MHz での共振点も含め、実測値と解析値の傾向はほぼ一致することからその有効性が確認できた。

## \*参考文献

- 1) 浅野 寛之, 山中 正弘, 小笠原 潔, 蒲原 泰, 佐藤 勝己, 不破 正人: 施設用照明器具の「Super-Hf インバータ」バラスト, 松下電工技報, No. 66, p. 42-46 (2002)
- 2) 宮下 純一, 蜜沢 雅之, 軽部 俊幸, 山沢 清人, 佐藤 敏郎: スイッチング電源におけるコモンモードノイズの定量解析の一手法, 信学論 B, vol. J84-B, No 3, p. 643-646 (2001)
- 3) 木田 智之, 光武 義雄, 難波 嘉彦: 施設用照明器具の構造を考慮した雑音端子電圧解析法, 松下電工技報, Vol. 53, No. 1, p. 82-86 (2005)

## ◆執筆者紹介



木田 智之

(株) 松下電工解析センター  
NARTE EMC Engineer



難波 嘉彦

(株) 松下電工解析センター  
NARTE EMC Engineer



光武 義雄

先行技術開発研究所



平田 勝弘

大阪大学大学院工学研究科  
工学博士