

# ラージループアンテナの製作と評価

藤本正克\*・尾前 宏\*<sup>2</sup>・中里一茂\*<sup>3</sup>

Fabrication and Evaluation of Large Loop Antenna  
Masakatsu Fujimoto, Hiroshi Onomae and Kazumo Nakazato

## 1. 緒 言

白色 LED が実用化されてから、メーカーによる製品開発や価格低下により急速に LED 照明が普及している<sup>1,2)</sup>。また、経済産業省は 2020 年までに流通する白熱電球や蛍光灯を全て高効率な LED 照明や有機 EL 照明に置き換える方針を示している。一方で規制の不備によりラジオ放送などへの受信障害が起こっている。これは LED 照明が電気用品安全法の対象にはなっていないため、雑音の規制も要求されなかったことによる。そのため、2012 年 7 月より LED 電球と LED 電灯が対象製品となった<sup>3)</sup>。

電気用品安全法では省令一項と省令二項のダブルスタンダードとなっており、製造者がどちらかを選択することができる。規定されている照明器具の EMC 規格 (エミッション) において、従来から国内で遵守されてきた省令一項では、雑音端子電圧及び雑音電力測定が規定されている。また、国際規格 (CISPR15) を基準とした省令二項では上記以外にラージループアンテナ (以下、LLA と称する) 法を用いた磁界測定が規定されている<sup>3,4)</sup>。このため、海内外向けの LED 照明製造企業による LLA 測定の要望も増加しており、多くの公設試でも導入が進んでいるが、システムが高額でかつ保管場所の確保等の問題のため導入が困難な場合がある。

そこで、安価でかつコンパクトな保管が可能な LLA 測定システムの構築を目的として、LLA を試作し規格に適合することを確認した。また、試作したアンテナと保有する EMC 測定システムを用いて、照明機器を測定しアンテナの有効性の検討を行った。

## 2. 実験方法

### 2・1 LLA と LLA 測定法<sup>5)</sup>

LLA 測定法は低周波領域の妨害磁界強度測定する際に、従来の 3m 法より信頼性の高い測定方法として規格に採用された。測定方法は 9 kHz から 30 MHz までの周波数範囲において、供試装置から放射される磁界成分の妨害波を LLA により測定する。具体的には供試装置をアンテナ中心部に設置することで装置より放射される妨害波をアンテナ内の誘起した電流によって測定する。これにより供試装置の大きさや配置の違いによる測定値の偏差や外来波の影響も少なく信頼性の高い測定法である<sup>6)</sup>。

LLA は図 1 に示すように一対のスリット及び電流プローブを配置した同軸ケーブルをアンテナに利用した直径 2m のループアンテナであり、一対のスリットには同軸ケーブルの特性イ

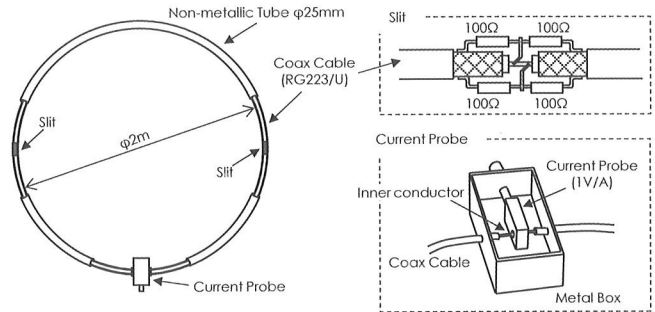


図 1 LLA の構造

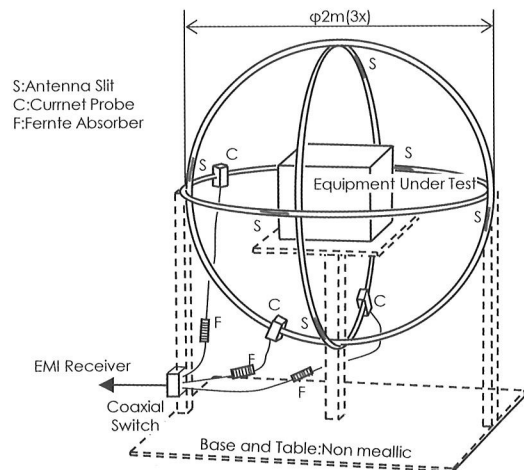


図 2 LLA 測定システム

ンピーダンスに等しい負荷抵抗を接続した構造である。同軸ケーブルの形状維持のため非金属被覆管で保持する構造としている。供試装置からの放射磁界により同軸ケーブルの外導体側に電流が流れ、スリットにある負荷での電圧降下により同軸ケーブルに給電される。その際に同軸ケーブルの心線に流れる電流を電流プローブで測定する。これにより供試装置からの放射磁界を計測することができる。使用する電流プローブは 1V/A (9kHz から 30MHz) の感度で、挿入損失が十分に低い必要がある。

LLA 測定システムは互いに直交した 3 つの LLA と測定器である EMI レシーバで構成される。図 2 に LLA 測定システムの概要を示す。3 つの LLA の電流プローブから 1 つの LLA を同軸切換器により選択し、供試装置から放射される妨害波を測定する。測定では計測した磁界の最大値を測定値とする。電流プローブから EMI レシーバまでの同軸ケーブルには、外来波の影響を低減するためにフェライトコアを取り付ける。なお、市販されている LLA 測定システムは、3 軸同時に測定する必要は

\* 企業支援部電子応用グループ

\*<sup>2</sup> 鹿児島県工業技術センター

\*<sup>3</sup> 兵庫県立工業技術センター

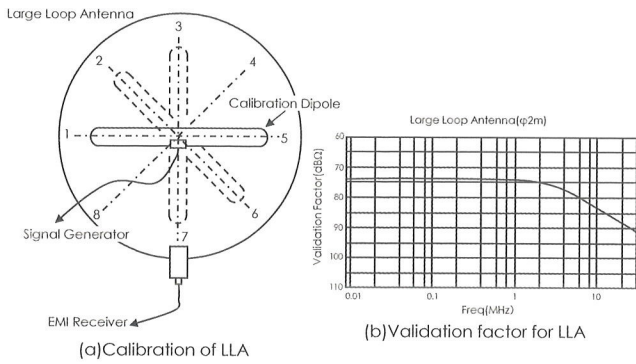


図3 LLAを検証するダイポールアンテナと特性係数

表1 アンテナ特性測定条件

測定周波数	9kHz~30MHz(43ポイント)
信号発生器	SMY01(Rohde & Schwarz)
送信パワー	+10dBm
スペアナ	N9020A(Keysight)
アンテナ位置	垂直・水平

表2 LLA 試作に必要な部材

アンテナ	部材	仕様
ラージ ループ アンテナ	同軸ケーブル	RG223/U
	抵抗	100Ω
	非金属被覆管	内径 25mm
	電流プローブ	1V/A(9kHz-30MHz)
ダイポール アンテナ	同軸ケーブル	RG223/U
	非金属支柱	頑丈にすること

ないことから3つのLLAが直交するタイプと1つのLLAで3軸に変換する構造を有するタイプがある。

LLAのアンテナ特性はバラン付ダイポールアンテナ(以下、DPAと称する)に磁界を発生させ、その磁界によってLLAに誘導される電流を測定することで算出する。そのアンテナ特性と計算値を比較することでLLAの検証を行う。検証は図に示す8カ所の位置にDPAを設置して行う。図3(a)にDPAの配置を示す。この場合の送信出力VとLLAに流れる電流Iは次式となる。

$$V.F[dB\Omega] = V[dB(\mu Vemf)] - I[dB(\mu A)] \dots \dots \dots (1)$$

この特性係数VFを図3(b)に示す。LLAは8カ所の各々について特性係数から±2dB以内であることが必要である。

2・2 測定環境及び条件

LLAアンテナ特性の測定は高周波信号発生器(ロード・シュワルツ製SMY01)とスペクトラムアナライザ(キーサイト・テクノロジー製N9020A)で実施した。アンテナ特性の測定条件を表1に示す。測定周波数は9kHzから30MHzの43ポイントで行い、信号発生器の出力は10dBmとした。また、比較検討するために兵庫県立工業技術センター(以下、兵庫工技と称する)が保有する1軸ラージループ測定システム(日本シールドエンクロージャー製JSE-LLA-2)を用いた。

LLA測定ではCISPR15に準拠した測定条件で測定を行った。具体的には周波数範囲は9kHzから30MHzでIF帯域幅は150kHzまでが200Hz、150kHz以上が9kHzとした。測定レンジは9-50kHz、-100kHz、-150kHz、-1MHz、-10MHz、30MHzの6レンジとした。また、測定は雑音端子電圧測定に

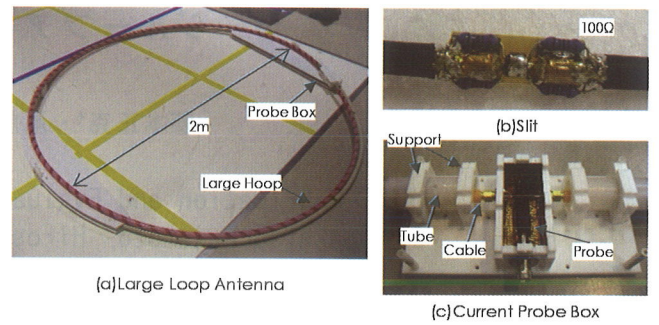


図4 試作したLLA

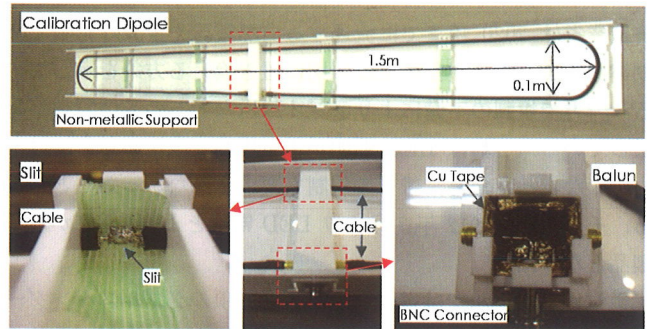


図5 試作したダイポールアンテナ

用いているソフトウェア(東陽テクニカ製EP5/CE)を使用し、供試装置として冷陰極蛍光ランプ(CCFL)と直管型LEDランプを用いた。比較検討するために兵庫工技以外にネクスト香川で保有する3軸ラージループ測定システム(Schwarzbeck製HXYZ9170)を用いて測定し比較した。

3. 実験結果

3・1 LLA 製作

LLAについてはCISPR 16-1-4<sup>5)</sup>の補助装置の付則C「周波数範囲9kHz-30MHzの磁界誘導電流測定用のループアンテナシステム」に詳細な記述があり、その内容に基づき製作した。LLA及びDPAの部材の仕様について表2に示す。また、図4(a)にLLA、(b)にスリット、(c)に電流プローブボックスの写真を示す。同軸ケーブルは規格に推奨部材としているRG223/Uを、抵抗には許容差±0.1%の100Ω抵抗を、電流プローブにはテクトロニクス製CT2を用いた。非金属被覆管については市販の遊具である特大フープ(直径2m)を加工して用いた。電流プローブボックスと非金属被覆管固定用にアクリル板を加工したボックスを作製した。電流プローブケースについては金属ケースとするために内壁を銅テープで貼り付けることで対応した。なお、フープは柔軟性があり輸送や保管の際は2重にすることができる。これにより大きさを直径1m程度と小さくすることができる。

次にLLA特性を確認するためのDPAを製作した。仕様はLLAと同様に規格に準じた。図5にDPAの写真を示す。同軸ケーブルは推奨部材としているRG223/Uを用いた。また、アンテナの形状を保持するための非金属支柱としてアクリル板を加工した保持具を作製した。これでDPAの大きさ(長さ1.5m、幅0.1m)を保持することができる。

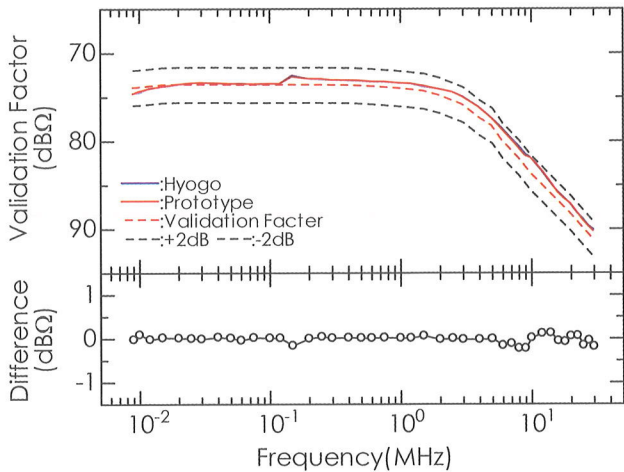


図6 試作したダイポールアンテナの特性結果

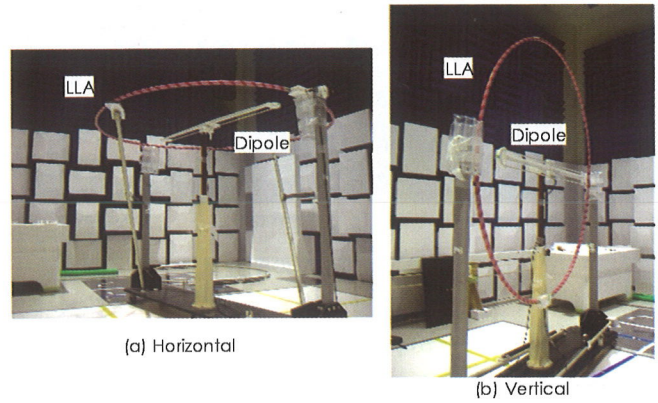
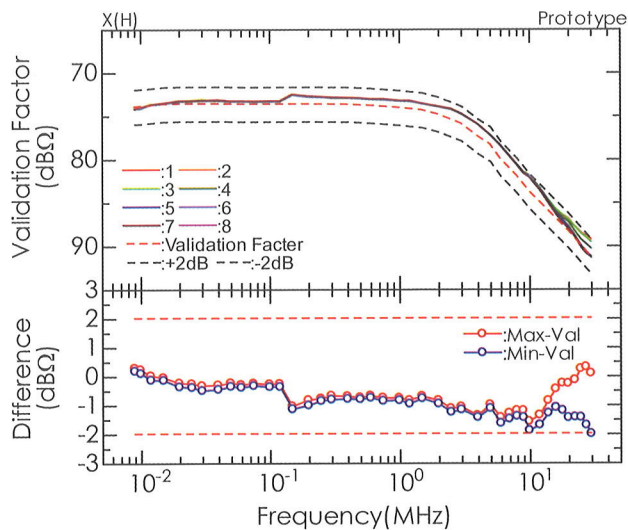
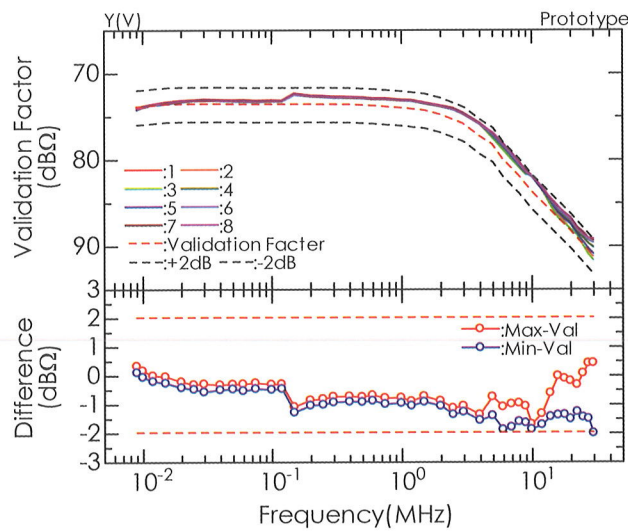


図8 試作した LLA のアンテナ特性測定風景



(a) Horizontal



(b) Vertical

図7 試作した LLA の特性結果

なお、保持具は輸送や保管を考慮して3分割できる構造となっている。

3・2 LLA 特性

最初に DPA のアンテナ特性を測定した。図6に DPA 特性の測定結果を示す。性能比較として兵庫工技の DPA の測

定結果もあわせて示す。測定に用いた LLA は兵庫工技のアンテナを使用した。また、アンテナは兵庫工技保有のシステムに水平に配置し、DPA の配置位置は図3(a)に示す1のみで行った。結果から両者のアンテナ特性の差は全ての周波数範囲で $\pm 0.3\text{dB}\Omega$ と非常に小さいことがわかった。このことから試作した DPA は LLA 検証用として有効であることが確認できた。

次に試作した LLA の特性を測定した。DPA は兵庫工技保有のアンテナを用い、LLA の保持も兵庫工技の LLA システムを用いた。測定は水平及び垂直で実施した。図7に試作した LLA のアンテナ特性の測定結果を示す。また、図8に測定風景を示す。水平及び垂直において測定した8つの配置全てにおいて規格を満足する $\pm 2.0\text{dB}\Omega$ 以内となった。特に100kHz以下では $\pm 0.5\text{dB}\Omega$ と非常に差の小さい結果となった。しかしながら、100kHz以上特に2MHz以上においては理論値との差が大きくなった。これは測定器としてスペアナを用いているために、150kHz未満と以上においてIF帯域幅が異なることに起因していると考えられる。また、10MHz以上の配置位置による差については、周波数が高くなることにより、波長が小さくなることで影響が大きくなったことによると考えられる。このことは兵庫工技の LLA でも同様のことが確認できた。

以上のことから、試作した DPA 及び LLA に関しては規格を満足しており、LLA 測定に十分使用可能であることが確認できた。

3・3 LLA 測定

試作した LLA と保有する EMI レシーバ等の EMI 測定システムを用いて、照明機器の LLA 測定を行った。照明機器は市販されている冷陰極蛍光ランプ (CCFL) と直管型 LED ランプを用いた。また、比較として兵庫工技とネクスト香川の LLA 測定システムでも測定を行った。図9に試作した LLA 測定システムの風景を示す。また、兵庫工技及びネクスト香川の測定風景も示す。山口産技ではZ方向の設置を、兵庫工技ではX方向の設置を示している。3方向の測定を実施するためには、X及びY方向に対して LLA を直立させる必要があるが、LLA の保持方法について検討していないためZ方向のみ測定を実施した。また、照明機器を EUT 机に設置したため LLA の高さが通常の

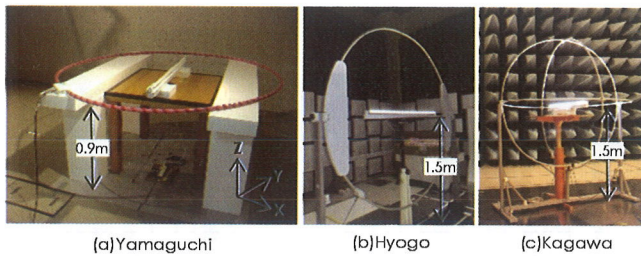


図9 試作した LLA の配置風景

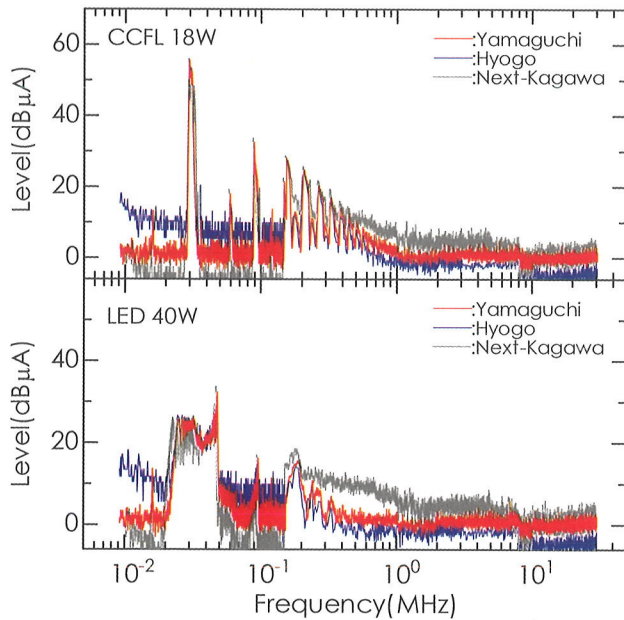


図10 供試装置の測定結果

システムの 1.5m より低い 0.9m となった。LLA の保持には発泡スチロールを用いた。

図10に測定結果を示す。測定は MaxHold で行った。作製した LLA を用いた測定と兵庫工技とネクスト香川で測定した結果は、冷陰極蛍光ランプ (CCFL) と直管型 LED ランプともバックグラウンドは違うものの同じ波形となった。各々のピーク値を比較しても  $\pm 1.0\text{dB}\mu\text{A}$  以内と非常に近い値となった。このため、作製した LLA と測定システムは測定に十分対応できるシステムであることが確認できた。また、Z 方向の配置方法についても発泡スチロールを用いた今回の方法で十分であることが確認できた。

#### 4. 結論

安価でかつコンパクトな保管が可能な LLA 測定システムの構築を目的として、LLA を試作し規格に適合することを確認した。また、作製したアンテナと保有する EMI 測定システムを用いて、LLA 測定法による照明機器を測定しアンテナの有効性の検討を行った。

その結果、作製した LLA と DPA は規格に準拠した性能であることを確認できた。また測定システムで市販の照明機器の測定を行い、市販されている測定システムと測定比較を行った結果、偏差の少ない結果となった。

また、作製した LLA と DPA はコンパクトに保管できる機構としているため、市販のシステムと比較しても十分小さいスペースで保管できるアンテナにすることができた。今後は X 及び Y 方向の配置方法の検討を行う予定である。

#### 謝 辞

比較測定にご協力頂いたネクスト香川 村井伸行氏に感謝します。また、測定機材の提供と有益なご助言をいただいた産業技術総合研究所 黒川悟氏、飴谷充隆氏に深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 森明 : 「LED 照明の最新動向」, 電気と保安, No. 512, pp. 12-17 (2014).
- 2) 前原孝章 : 「次世代照明市場動向」, 日本画像学会誌, No. 50, pp. 225-228 (2011).
- 3) 平伴喜光 : 「最近の照明器具の EMC 規格」, EMC, No. 284, pp. 50-57 (2011).
- 4) J55015 (H20) : 「電気照明及び類似機器の無線妨害波特性の許容値及び測定法」, (2008).
- 5) CISPR 16 - 1 - 4 Ed. 2. 0 : “Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4 : Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Ancillary equipment - Radiated disturbances”, (2007).
- 6) 篠塚 隆, 杉浦 行, 西方敦博 : 「ラージループアンテナ法による妨害波測定」, 電磁情報通信学会技術研究報告 (EMCJ), No. 90, pp. 25-32 (1990).