

LED 照明の医療機関への安全な導入のための電磁環境および医療機器への影響の調査

代表研究者 石 田 開 情報通信研究機構 電磁波研究所 研究員

1 はじめに

1990 年代に青色の発光ダイオード (Light-emitting diode: 以下、LED) が開発されて以降、LED 照明が局所照明を中心に市場に登場した。従来の白熱電球や蛍光灯と比較して、低消費電力でかつ長寿命であること、さらに、高い信頼性を持ち、近年では低価格化も進んでいることから、一般家庭や商業施設、公共機関などを中心に急速に普及が進んでいる。また、医療機関においても、施設の建て替えや移転を契機として、LED 照明の導入を加速させる動きにある。加えて、その技術は一般照明のみならず、手術室の无影灯や歯科の口腔内照明装置、手術ゴーグル、夜間処置用の看護用照明などにも用いられている。Baumgartner らによれば、2020 年には LED は世界の一般照明市場のほぼ 70 %において、住宅照明市場では 70 %以上を占めると予想されている[1]。日本国内においては、経済産業省が掲げるエネルギー基本計画において、LED 照明を含む高効率照明については、2020 年までにフローで 100 %、2030 年までにストックで 100 %の普及を目指す方針が打ち出された[2]。これを受けて日本国内の照明業界においては、LED 製品を主力化する方向に転換し、白熱電球や蛍光灯などの従来型照明器具の生産を終了や大幅に縮小する流れにある。従って、LED 照明が今後の我々の生活環境において、益々普及することはほぼ間違い無いと言える。また、医療機関においても近い将来、病室や診察室、各種検査室・処置室などの一般照明が全面的に LED へと切り替わることが容易に予想される。

一般的な LED 照明には、低消費電力・長寿命を実現するために、スイッチングレギュレータ (AC-DC および DC-DC コンバータ) が搭載されている。このスイッチングレギュレータは、電源の高速な ON/OFF 動作をおこなうことにより、低消費電力を実現しているが、同時にスイッチング周波数とその高調波成分の電磁ノイズを発生する。この電磁ノイズは、電源線や筐体を介して伝導するとともに、その周囲に電磁妨害波として放射される。この電磁妨害波は VHF~UHF 帯に達するものもあり、地上デジタル放送や FM ラジオ、アマチュア・消防無線、自動車のキーレスエントリーなどの受信障害を引き起こす可能性がある[3]。医療現場においては、患者の心電図や呼吸状態、血圧、筋電図、動脈血酸素飽和度などの生体情報を無線伝送する医療機器である、医用テレメータへの受信障害が懸念されている。また、手術室に一般に導入されている无影灯も近年では LED を使用した製品が主流となっており、電磁妨害波の発生が懸念され、これによる磁場式手術ナビゲーションシステムの位置精度推定に影響を与えたとの報告がなされている[4]。

LED 照明から放射される電磁妨害波の許容値とその測定法は、国際無線障害特別委員会 (Comité international spécial des perturbations radioélectriques: 以下、CISPR) の発行する「CISPR 15 電気照明及び類似機器の無線妨害波特性」によって規定されており[5]、本測定法においては対象機器 (照明) と測定アンテナ間の距離を 3 m または 10 m とするよう定められている。しかし実際の医療現場では、医用テレメータの受信アンテナは病棟や廊下の天井裏に敷設されることが多く、LED 照明やその電源線と極めて近い距離に位置する状況が想定され、双方が接触する可能性も否定できない[6]。加えて CISPR 15 では、120 kHz の測定帯域幅が規定されているが、それに対して国内で広く使用されている A 型の医用テレメータの周波数占有帯域幅は 12.5 kHz と狭い[7]。従って、CISPR 15 の測定法は、LED 照明の電磁妨害波が医用テレメータへ与える干渉を評価する手法として適切であるとは考えにくい。今後のさらなる LED 照明の普及を考慮すると、医療現場における医用テレメータへの電磁干渉のさらなる増加が懸念されるため[8, 9]、適切な評価法の確立が必要である。

一方、LED 无影灯についても市販前には、医療機器としての許認可を得る必要があり、その審査過程においては、発生する電磁妨害波は CISPR 15 の許容値に準拠する必要がある。しかし、実際の手術室においては、LED 无影灯は術野の 1 m 程度上部に位置することが多く、術野付近に位置する医療機器への影響を検証する上では、測定距離の面で CISPR 15 は現実的とは考えにくい。現状では、このような近距離 (近傍界) での電磁妨害波については、規格やガイドラインなどの基準は存在していない。加えて、実際に LED 无影灯から発生する電磁妨害波を定量的に測定・評価した研究は文献的に見出せなかった。

本研究では、LED 照明から発生する電磁妨害波の特性を把握し、さらにそれらが医療機器へ与える影響に

ついて検討をおこなうことを目的とした。具体的には、一般的な LED 照明（電球型および直管型）および LED 無影灯を対象とし、それらから発生する電磁妨害波を測定するとともに、医用テレメータおよび磁場式手術ナビゲーションシステムへの影響を実機により検証した。

2 LED 照明から発生する電磁妨害波の特性の把握と医用テレメータへの影響の検討

2-1 LED 照明から発生する電磁妨害波による医用テレメータへの電磁干渉の検証

LED 照明から発生する電磁妨害波による、医用テレメータの受信障害を確認するため、電波暗室内にて干渉実験を実施した。医用テレメータの受信アンテナの近傍に LED 照明を敷設・点灯させた際に、ベッドサイドモニター上での心電図の受信に対する影響の有無を観察した。検証は、LED 照明⇄受信アンテナ間の距離、受信アンテナ⇄送信機間の距離を変更し、検討をおこなった。図 1 に検証の風景を示す。医用テレメータの送信機と受信アンテナの距離は直線距離において 4 m 程度であり、通常ではこの距離での受信は良好である。しかし、一部の LED 照明の点灯後に心電図波形に雑音が混入し、その後受信信号が完全に途絶した（図 2）。

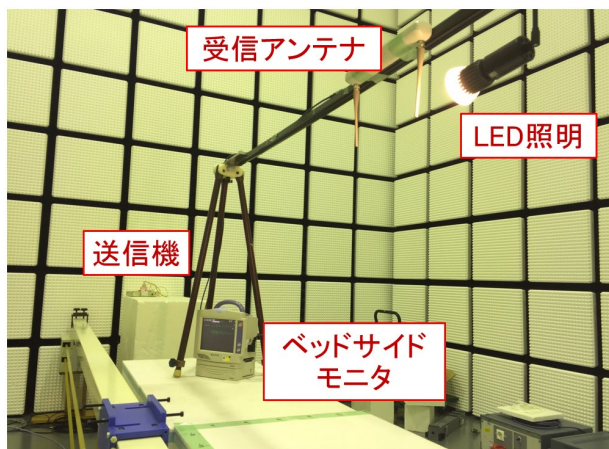


図 1. 医用テレメータへの電磁干渉の検証風景

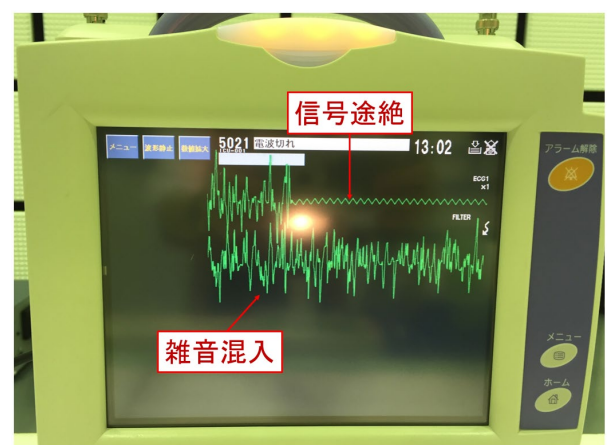


図 2. 受信障害の様子

干渉源の LED 照明によっては、受信アンテナと LED 照明との距離が 1.5 m 程度離れていても受信障害が発生することが確認された。また、送信機を電波暗室外に設置し（電波暗室のドアは開放）、受信アンテナとの距離が直線距離にて 10 m 程度になった場合、LED 照明と約 2 m 離れていても受信障害が確認された。さらに、受信アンテナを漏洩同軸ケーブルに変更した際においても、同様の受信障害の発生が確認された。一方、LED 照明を消灯させると、再び心電図がベッドサイドモニター上に表示されたため、干渉は可逆的なものであると言える。

2-2 LED 照明から発生する電磁妨害波の周波数特性

LED 照明から発生する電磁妨害波の周波数特性の測定風景を図 3 に示す。近傍界プローブ（Model 7405/ETS-Lindgren）にて受信した信号をプリアンプ（310/Sonoma Instrument）を介して、スペクトラムアナライザ（MS2690A1/Anritsu）にて記録した。対象周波数は 30 MHz～1000 MHz とし、分解能帯域幅（Resolution bandwidth：以下、RBW）およびビデオ帯域幅（Video bandwidth：以下、VBW）はともに 100 kHz とした。

一例として、LED 照明 8 種の電磁妨害波の 1 cm 地点における周波数分布を図 4 に示す。一部の LED 照明ではノイズフロアとほぼ同等の、ほとんど電磁妨害波を発生しない機種も確認された。一方、LED A や LED B のように広帯域かつ高強度の電磁妨害波を発生するものも確認された。特に、医用テレメータの使用周波数帯である 420 MHz～440 MHz 帯に電磁妨害波を発生するものも確認された。

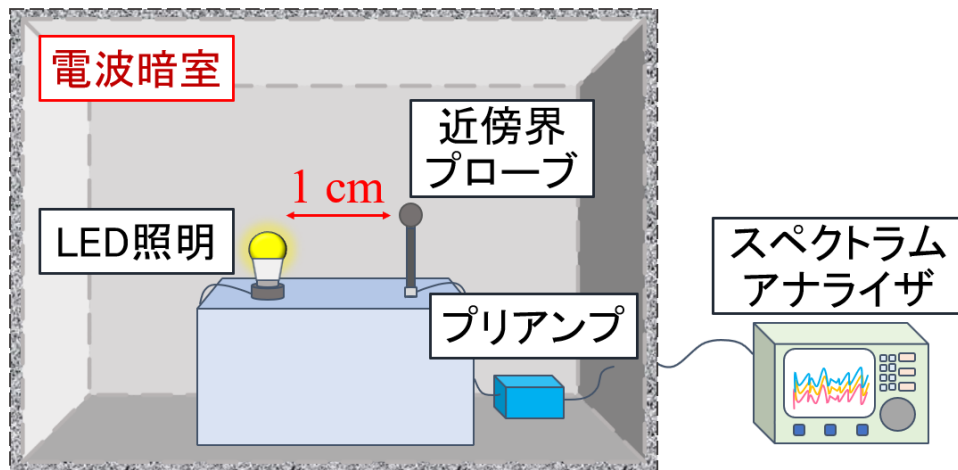


図 3. LED 照明から発生する電磁妨害波の周波数分布の測定図

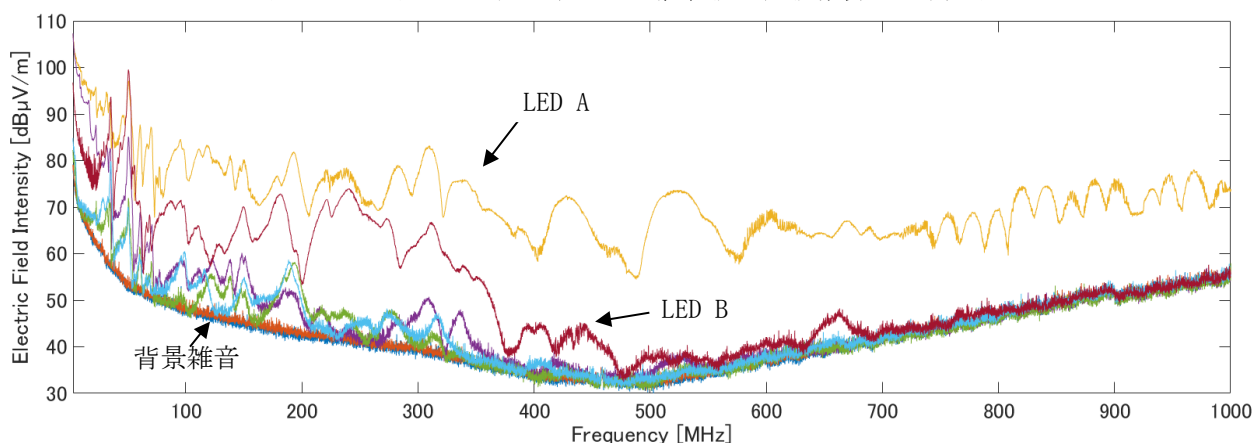


図 4. LED 照明から発生する電磁妨害波の周波数分布

2-3 LED 照明から発生する電磁妨害波の時間特性

LED 照明から発生する電磁妨害波による無線通信の受信に対する影響は、受信機の RBW によって大きく左右される。一般に、地上デジタル放送や携帯電話などは広帯域の受信をおこなう一方、医療機関において広く用いられている A 型の医用テレメータは 12.5 kHz と狭帯域の受信をおこなう。従って、受信の窓の大きさ（帯域幅）により、電磁妨害波の特性は変化する。本検討では、帯域制限による影響を確認するため、医用テレメータ用のホイップアンテナを接続したスペクトラムアナライザ（MS2690A1／Anritsu）の時間測定モード（ゼロスパンモード）を用いて、RBW を 20 MHz～0.01 MHz に変化させ測定をおこなった。なお、測定周波数は 445.0 MHz（医用テレメータの ch 5045 に相当）とした。

一例として、電球型 LED 照明 A を対象として、掃引時間を 100 μ s、RBW を 20 MHz、300 kHz、100 kHz とした時の電磁妨害波を図 5(a)～(c)に示す。RBW が 1 MHz 以上であれば、スイッチングに起因した 2 つのインパルス性ノイズが確認できる。一方、帯域幅を狭めるとこのインパルス性の確認は困難となった。製品により、電磁妨害波の強度は異なったが、多くの LED 照明では RBW の低下とともに、雑音がガウス性となる傾向が確認された。

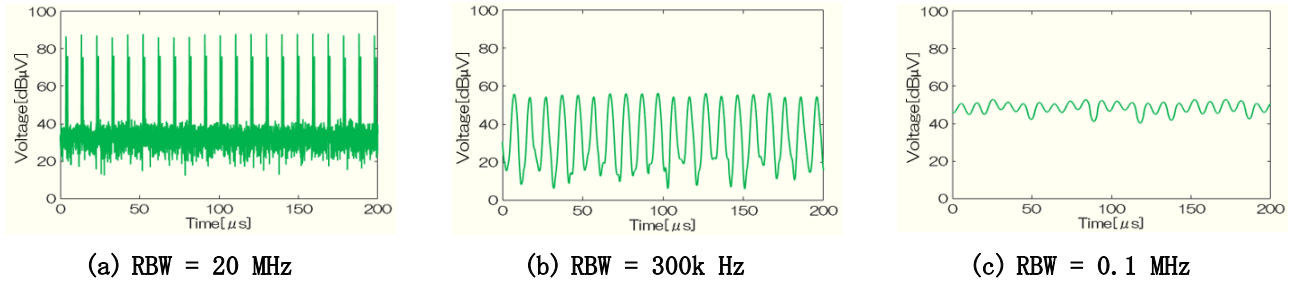


図 5. 電球型 LED 照明の電磁妨害波の時間領域での測定結果

続いて、医用テレメータの 1 チャンネルとほぼ同等である 10 kHz の帯域幅において、LED 照明から発生する電磁妨害波が帯域制限された場合の統計的性質を調査するため、振幅確率分布 (Amplitude Probability Distribution: 以下、APD) を用いた評価を実施した。APD の概念を図 6 に示す。

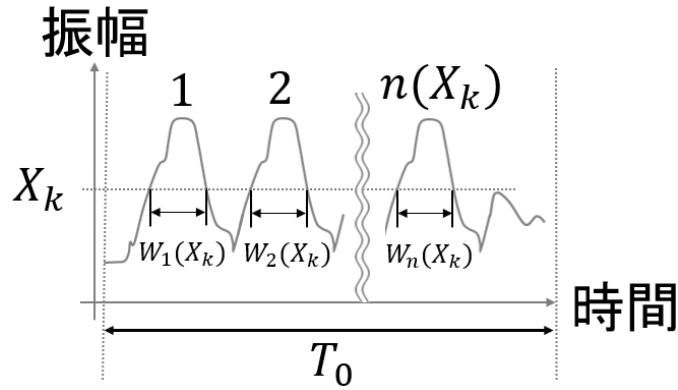


図 6. APD の概念図

APD とは、妨害波の包絡線がある閾値を超える時間確率を示す指標であり、デジタル通信の品質劣化と関連の高い妨害波パラメータとして広く知られており、式 (1) により定義される[10]。

$$APD(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} W_i(x)/T_0 \quad (1)$$

$$APD(G) = \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

ここで W_i は包絡線 x が閾値を超える区間を、 $n(x)$ は閾値を超える回数を、 T_0 は総測定時間を示す。また式 (2) により、ガウス性雑音の APD を求めることが可能である。ここで、 r は包絡線の瞬時電圧値であり、 σ^2 は妨害波の平均電力、今回の場合は LED 照明から発生する電磁妨害波の平均電力を示す。これらを用いて、LED 照明から発生する電磁妨害波の時間領域での変動の分布を算出し、APD(x) を求めた。また、ガウス性雑音の APD を求め、両者の比較をおこなった。

測定をおこなった多くの LED 照明の電磁妨害波の分布は、レイリー分布に従う傾向がみられた。また、多くの LED 照明から発生する電磁妨害波は、振幅分布の測定値から平均電力を求めた APD と、同じ平均電力を持つガウス性雑音の APD とほぼ一致した (図 7)。この結果から、医用テレメータの受信に対しては、LED 照明が発生する電磁雑音はガウス性であることが示された。従って、電磁妨害波の平均電力やビット誤り率 (Bit Error Rate: BER) を用いた簡易的な評価がおこなえると考えられた。

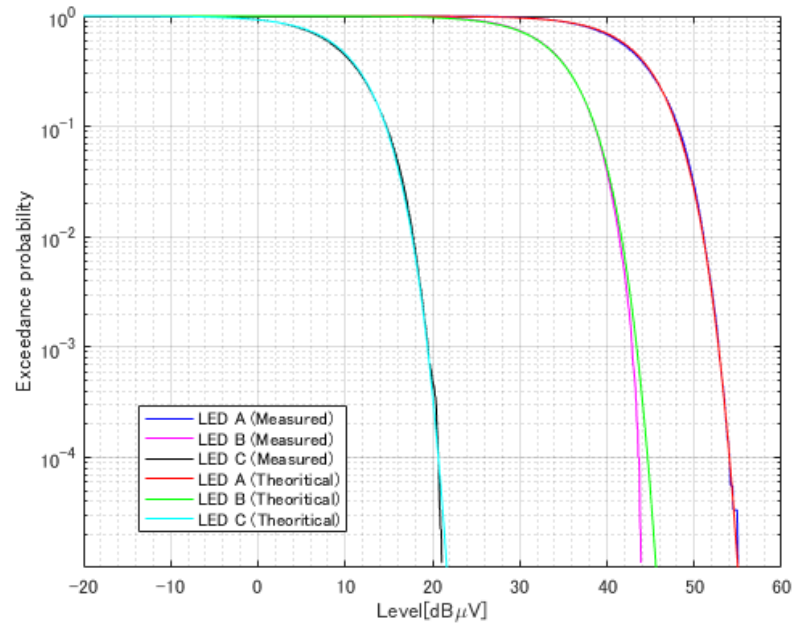


図 7. LED 照明が発生する電磁妨害波の APD と理論 APD

3 LED 無影灯から発生する電磁妨害波による磁場式手術ナビゲーションシステムへの影響の検討

医療現場における LED を用いた照明として、手術室内で用いられる无影灯が存在する。しかし一般的な LED 照明と同様に、LED 无影灯も内部にスイッチングレギュレータを採用していることから、スイッチング動作による電磁妨害波の発生が懸念される。実際に医療機関からの報告において、磁場式手術ナビゲーションシステムへの電磁干渉（位置推定誤差）が報告されている[4]。本研究では、国内の医療機関および医療機器製造販売業者の協力を得て、LED 无影灯から発生する電磁妨害波の測定を実施し、さらにこの電磁妨害波による磁場式手術ナビゲーションシステムへの電磁干渉について検証を実施した。

3-1 LED 无影灯から発生する電磁妨害波の振幅特性と周波数分布

（1）測定対象

4 社 9 機種 of LED 无影灯を測定対象とした。測定場所は、各无影灯が設置されている医療機関の手術室または製造販売業者のショールームとした。なお、本測定の前に予備実験として、A 大学病院内手術室に設置された LED 无影灯 A の電磁妨害波の測定を試みた。測定周波数は、電磁干渉の対照となる医療機器が磁場を用いる機器（手術ナビゲーションシステム）であることから、磁場領域の電磁妨害波（100 kHz～30 MHz）を対象とした。また、同時に電界の測定も実施したが、電波暗室での測定ではないため、AM ラジオや無線通信などの外来波による影響が強く、LED 无影灯から発生する電磁妨害波を定量的に測定するには適さないと判断した。本測定では最初に、測定場所の背景雑音を観察するため、可能な限り室内に配置されている医療機器（麻酔器および手術台）や電子機器（コンピュータ）、室内照明などの電源を切り、その環境におけるノイズフロアを室内中央にて測定した。しかし、測定を実施した幾つかの施設においては、背景雑音として放送波（AM 放送、約 0.5 MHz～1.6 MHz 付近）と考えられる外来波が定常的に観察された。また、室内に常設され、電源を切ることができなかった機器（電子タグリッド、13.56 MHz）や電気設備由来と考えられるノイズ（測定器の性質上、100 kHz 以下の周波数成分が下限値の 100 kHz に重畳）も観察された。従って、本研究では測定を実施した施設ごとにノイズフロアの振幅強度や周波数分布が異なっている。本来、測定対象から発生する電磁妨害波を、厳密に測定しかつ定量化するのであれば、測定は電波暗室内にておこなうことが望まれる。しかし、LED 无影灯は施設に導入後、手術室にほとんど常設され、さらにその電気配線類を取り外すことは難しいため、電波暗室内での測定は困難と言える。従って、本研究では LED 无影灯から発生する電磁妨害波を機種ごとに比較することはおこなわず、ノイズフロアに対しての振幅強度について調査をおこなうに留めることとした。一方、ノイズフロア以上のものが確認されたのであれば、それは LED 无影灯の使用

により発生した電磁妨害波と断定することが可能であり、その結果を記すこととした。

(2) 遠方での電磁妨害波の測定

60 cm ループアンテナ (HLA6120/TESEQ) およびスペクトラムアナライザ (MS2721B/Anritsu) を用いて、LED 無影灯から発生する放射電磁妨害波を測定した。過去の報告より、磁場式ナビゲーションシステムへの影響が懸念されることから、磁場領域の放射電磁妨害波を測定することとし、測定周波数は 100 kHz～30 MHz とした。なお、RBW は 10 kHz、VBW は 1 kHz とし、Max Hold として 30 秒間掃引した後に電磁妨害波の周波数分布を記録した。機種により、照度や色温度の調整可能範囲が異なっていたため、原則としてこれらはすべて最大にした状態にて、測定をおこなった。測定距離は、LED 無影灯の照射面から 0.5 m、1 m および 2 m とした。この距離は CISPR 15 にて定められた測定距離よりも短い、LED 無影灯と術野の現実的な距離を想定しておこなったためである。本研究では、特に磁場式手術ナビゲーションシステムへの影響を対象としたため、CISPR 15 にて規定された 3 m では現実的ではないと判断した。従って、本研究の測定結果は独自の値であり、CISPR 15 で規定された許容値との比較はおこなっていない。なお、測定値は電力 P (dBm) としてスペクトラムアナライザにて測定後、電流値 (dBμA) に変換し、アンテナ係数 (AF) による補正をおこなった値を磁界強度 H (dBμA/m) とした (式 3)。

$$H [dB\mu A/m] = P [dBm] + 107 + AF [dB] \quad (3)$$

LED 無影灯 A、B および C の 0.5 m、1 m および 2 m の地点での磁界強度を図 8(a)～(c) に示す。LED 無影灯 A では、2 MHz 付近で約 84 dBμA/m とノイズフロア (Background noise : BGN) よりも、約 20 dB 大きい電磁妨害波が確認でき、距離が近いほど値は大きくなった。また、15 MHz～20 MHz にかけて約 60 dBμA/m と、ノイズフロアよりも約 10～20 dB 高い電磁妨害波のピークが確認できた。この電磁妨害波は 30 MHz 程度まで高調波として発生していたが、距離による変化は少なかった。LED 無影灯 B では、約 80 dBμA/m の電磁妨害波が 2 MHz 付近まで確認できるが、これは LED 無影灯の電源を切った状態でも確認されており、AM ラジオの周波数も含まれている。この周波数付近の平均の磁界強度は、ノイズフロアとほぼ同等であり、従って、発生する電磁妨害波はノイズフロアと同等もしくはそれ以下であると考えられた。また、10 MHz～15 MHz にかけて約 50 dBμA/m の高調波と考えられる電磁妨害波が確認されたが、それ以外の周波数においてはノイズフロアとほぼ同等の平均磁界強度を示した。LED 無影灯 C では 1 MHz 付近に LED 無影灯 B と同様の電磁妨害波のピークがあり、同じく外来波を受信したものと推察される。一方、2.5 MHz および 6 MHz 付近には約 35 dBμA/m 程度の電磁妨害波のピークが確認したが、それ以外の周波数においてはノイズフロアとほぼ同等の平均磁界強度を示した。

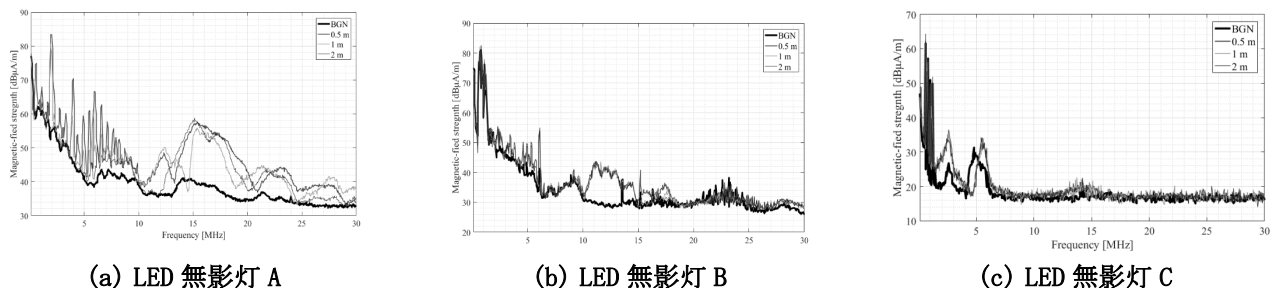


図 8. 電球型 LED 照明の電磁妨害波の時間領域での測定結果

(3) 近方での電磁妨害波の測定

一般的に LED 無影灯への電源供給は、電源装置から壁面や天井にある電源線を通り、天井から吊り下げられたシーリングアームを介し、無影灯本体へとおこなわれる。近傍界プローブ (Model 7405/ETS-Lindgren) およびスペクトラムアナライザ (MS2721B/Anritsu) を用いて、LED 無影灯から発生する放射電磁妨害波を近傍界にて測定し、ノイズの発生部位の特定を試みた。測定周波数は 100 kHz～30 MHz とし、対象から 1 cm 地点の磁界強度を測定した。RBW は 10 kHz、VBW は 1 kHz とし、30 秒間掃引後の Max Hold により記録した。また、測定部位は本体照射面の複数のポイントとした。

LED 無影灯 A の照射面における、近傍界での電磁妨害波の測定点とその結果を図 9 および図 10 に示す。最大で約 140 dBμA/m の磁界強度が確認され、高調波の発生も確認できる。高調波は測定位置によって、強く確

認できる箇所と確認できない箇所があり、その差は最大で 30 dB 程度であった。

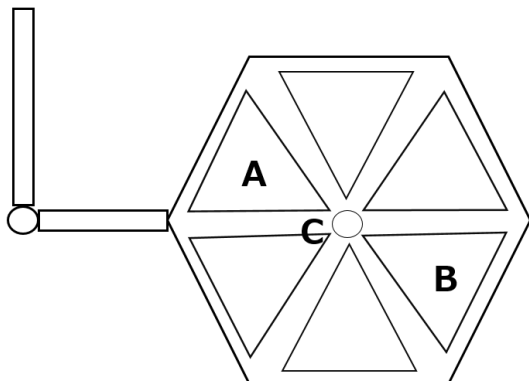


図 9. LED 無影灯 A の近傍界での測定点

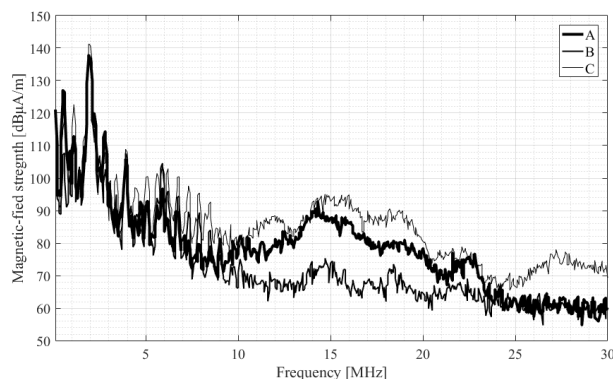


図 10. LED 無影灯 A の近傍界での測定結果

3-1 LED 無影灯から発生する電磁妨害波による磁場式手術ナビゲーションシステムへの電磁干渉

(1) 検証方法

B 大学附属病院の手術室（脳神経外科で使用）内にて、LED 無影灯から発生する電磁妨害波による、磁場式手術ナビゲーションシステムへの電磁干渉の有無を検証した。対象は 1 社の LED 無影灯および磁場式ナビゲーションシステム（Stealth Station S7/Medtronic）とした。磁場式手術ナビゲーションシステムは、脳神経外科手術を想定し、検証用の模擬画像データと頭部ファントムを用いた。頭部ファントムにトラッカを装着し、10 cm 遠方に磁場発生装置を配置した。この環境において、磁界を発生させレジストレーションをおこない、インストゥルメントを移動させモニタ上にてトラッキングが可能であることを確認した。次に、LED 無影灯を点灯し、モニタ上でのトラッキングの可否および位置推定誤差の有無を検証した。また、LED 無影灯をトラッカに限りなく接近させ、影響の有無を観察した（図 11）。

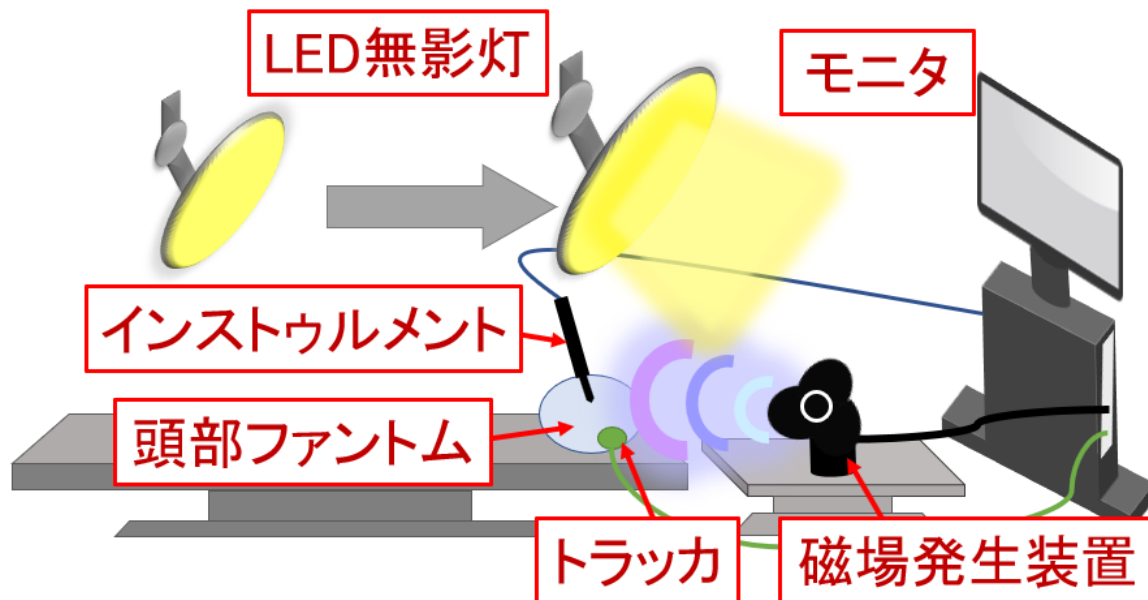


図 11. LED 無影灯による磁場式ナビゲーションシステムへの電磁干渉の検証

また、LED 無影灯の磁場発生装置が生じる磁界の強度および周波数を確認するため、磁場発生装置から 10 cm、50 cm および 1 m 地点における磁界強度を近傍界プローブ（Model 7405/ETS-Lindgren）およびスペクトラムアナライザ（MS2721B/Anritsu）を用いて測定をおこなった。

(2) 検証結果

LED 無影灯の照射面を、磁場式手術ナビゲーションシステムのトラッカおよび磁場発生装置に限りなく接近させたが、モニタ上でのトラッキングへの影響や位置情報推定誤差は確認されなかった。磁場式手術ナビゲーションシステムの磁場発生装置から 10 cm の地点では、400 kHz を基本周波数とする最大約 140 dB μ A/m の磁界が発生していた。この磁界の高調波は約 5 MHz まで確認できた (図 12)。また、50 cm 地点での磁界強度は約 110 dB μ A/m、1 m 地点においても約 100 dB μ A/m の磁界が確認できたが、高調波成分は少なくなった。

磁場式手術ナビゲーションシステムは、磁場発生装置と患者に装着したトラッカ間の約 10 cm から半径 30 cm 程度の限られた磁界の範囲において、トラッキングを可能とする。この磁界に何らかの変動がある場合、正確なトラッキングが困難となる。理論的には、磁場発生装置からこの範囲内に、既存の磁界よりも高強度の磁場がノイズとして印加された場合、トラッキングへの影響が起これ得と考えられる。本研究で対象とした磁場発生装置では、50 cm 地点において約 110 dB μ A/m と高強度の磁界が発生していた。これに対して、LED 無影灯から発生する電磁妨害波は、1 m 地点において最大約 65 dB μ A/m であった。従って、通常の手術環境であれば影響が起こる可能性は低いと考えられる。また、LED 無影灯の照射面から 1 cm と極めて近傍な部位では、磁場発生装置と同等の磁界を発生しているものもあったが、実際の手術において LED 無影灯が磁場発生装置と近接することは想定し得ない。故に通常の使用環境において、LED 無影灯が発生する電磁妨害波による磁場式ナビゲーションシステムへの電磁干渉が発生する可能性は、極めて低いと結論付ける。

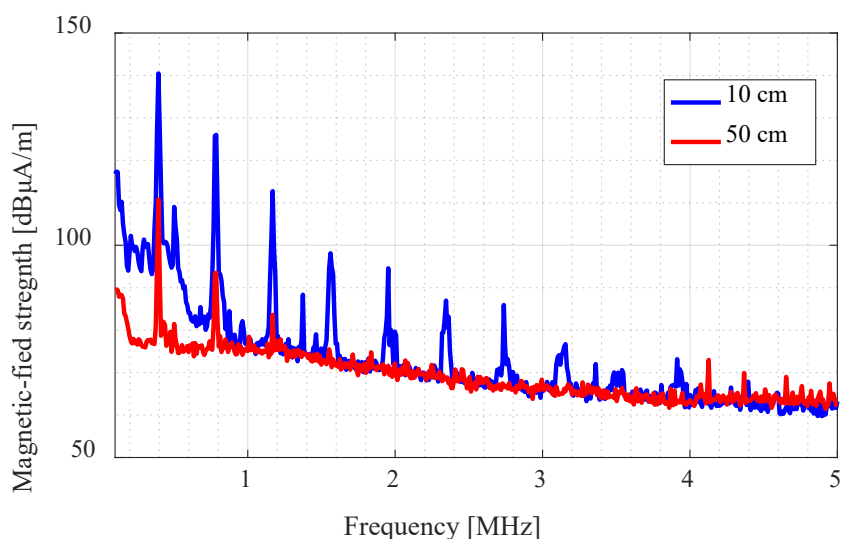


図 12. 磁場式手術ナビゲーションシステムから発生する磁界の周波数分布および強度

4 まとめ

本研究では、LED 照明から発生する電磁妨害波による医療機器への影響として、一般的な LED 照明による医用テレメータの受信障害および LED 無影灯による磁場式手術ナビゲーションシステムへの電磁干渉について調査・検討を実施した。

一部の LED 照明からは、わが国の医用テレメータの割り当て周波数帯である、420 MHz～440 MHz 帯にて比較的強い振幅強度を有するものが確認された。また、この電磁妨害波により実際に医用テレメータが受信障害を引き起こす可能性を実験的に示した。さらに、この電磁妨害波が医用テレメータの受信と同等に帯域制限された場合、妨害波はガウス性雑音に近似が可能であり、平均電力を用いた簡易的な評価が可能であることを示した。

LED 無影灯から発生する電磁妨害波は、通常の手術の使用環境を考慮した場合、ほとんど背景雑音と同様であることがわかった。この場合、磁場式手術ナビゲーションシステムの位置推定に及ぼす影響は低いと考えられる。

【参考文献】

- [1] Thomas Baumgartner, Florian Wunderlich, Arthur Jaunich, Tomoo Sato, Georg Bundy, Nadine Griebmann, Julia Kowalski, Stefan Burghardt and Jörg Hanebrink, “Lighting the way: Perspectives on the global lighting market, 2nd ed.” Hanebrink J. New York, McKinsey & Company, August, 2012.
- [2] 経済産業省. エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月）.
- [3] Ifong Wu, Hiroki Ohta, Kaoru Gotoh, Shinobu Ishigami and Yasushi Matsumoto, “Characteristics of Radiation Noise from an LED Lamp and Its Effect on the BER Performance of an OFDM System for DTTB,” IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. Vol.56, No.1, pp.132-142, February, 2014.
- [4] 木村早希, 加藤まなみ, 森田将太, 米谷瞭, 古越大喬, 新保里佳, 磯谷佳史, 小山昌利, 春田良雄, “磁場式ナビゲーションシステムにおける無影灯による磁場障害の検証,” 日本臨床工学会会誌. No.60, p.204, 2017 年 4 月.
- [5] 国際無線障害特別委員会 CISPR 15, “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”. 2018 年 5 月.
- [6] Eisuke Hanada, Kai Ishida and Takato Kudou, “Newly identified electromagnetic problems with medical telemeter systems,” Przegląd Elektrotechniczny. 2018, Vol.94, No.2, pp.21-24, February, 2018.
- [7] 一般社団法人電波産業会, “ARIB RCR STD-21 3.0 版 特定小電力無線局医療用テレメータ用無線設備”. 2016 年 3 月.
- [8] 村本能也, “医用テレメータの概要と受信障害対策,” 医療情報学. Suppl., pp.114-116, 2016 年 11 月.
- [9] 電波環境協議会, “医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き,”. 2016 年 4 月.
- [10] Kaoru Gotoh, Yasushi Matsumoto, Yukio Yamanaka and Takashi Shinozuka, “APD Measurement for Evaluating Disturbances Related to the Performance of Digital Communication Systems,” IEICE Transactions on Communications. Vol.E88-B, No.8, p.3235-3241, August 2005.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
LED 照明の敷設環境から漏洩する電磁ノイズの可視化	第 47 回日本医療福祉設備学会大会	2018 年 11 月
LED 無影灯から発生する電磁ノイズの評価と磁場式ナビゲーションシステムへの影響検証	医療機器学 Vol.88, No.4, pp.468-476	2018 年 10 月
LED 照明の電磁雑音による医用テレメータ受信感度劣化の評価	2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	2018 年 9 月
Electromagnetic Noise Radiated from LED Shadowless Lighting and Its Effect on Surgical Navigation System	International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2018), pp.866-869	2018 年 8 月
電磁環境面から考える医用テレメータの安全な利用方法の検討	第 57 回日本生体医工学会大会	2018 年 6 月
LED 無影灯が発生する電磁雑音による磁場式ナビゲーションシステムへの影響調査	第 28 回日本臨床工学会	2018 年 5 月
Observation of Electromagnetic Noise from LED Shadowless Lights	2018 Joint IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Asia Pacific Electromagnetic Compatibility (2018 Joint IEEE EMC & APEMC), p.159	2018 年 5 月
Amplitude Characteristics of Frequency Band-limited LED Emission for Evaluation of Impact on Wireless Medical Telemeter	2018 Joint IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Asia Pacific Electromagnetic Compatibility (2018 Joint IEEE EMC & APEMC), p.23	2018 年 5 月
LED 照明による医用テレメータの電磁干渉評価の検討	2018 年電子情報通信学会総合大会	2018 年 3 月
医療現場の LED 照明敷設環境が医用テレメータの受信に与える影響	2017 年度第 5 回ヘルスケア・医療情報通信技術研究会, 信学技報 MICT2017-53, pp.11-16	2018 年 3 月
Electromagnetic compatibility of wireless medical telemetry systems and light emitting diode (LED) lamps	Przegląd Elektrotechniczny Vol.94, No.2, pp.21-24	2018 年 2 月
手術室における新たな電磁干渉	平成 29 年度第 4 回医療・福祉における電磁環境研究会	2018 年 1 月
LED 照明と医用テレメータの受信障害に関する振幅確率分布を用いた検討	平成 29 年度第 4 回医療・福祉における電磁環境研究会	2018 年 1 月
LED 照明による医用テレメータの電磁干渉の評価方法	第 46 回日本医療福祉設備学会大会	2017 年 11 月
LED 照明から発生する放射雑音の医用テレメータへの受信障害の評価方法に関する研究	第 2 回神奈川県臨床工学会	2017 年 10 月
医療機関での LED 照明の安全な導入に向けた電磁環境面での評価 -医用テレメータへの影響の検証-	医療機器学 Vol.87, No.3, pp.324-221	2017 年 6 月