

LPDA 型光電界センサの低周波化に関する検討

土屋 明久[†] 菅間 秀晃[†] 日高 直美[†] 辻野 真吾[‡] 橋本 修[‡]

[†] 神奈川県産業技術センター

〒243-0435 神奈川県海老名市下今泉 705-1

[‡] 青山学院大学 理工学部 電気電子工学科

〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1

E-mail: [†] tsuchiya@kanagawa-iri.jp

あらまし 近年、情報通信機器の高周波化に伴い、EMC(電磁環境適合性)試験において 1GHz 超の放射雑音電磁界強度測定が要求されるようになった。この EMC 試験及びノイズ対策に LPDA(Log-Periodic Dipole Antenna Array)型光電界センサを利用するためには受信下限周波数 1.8 GHz を 1.0 GHz にする必要がある。本研究では、電磁界解析の結果に光変調器の特性を考慮した計算方法を用いて LPDA 型光電界センサの受信下限周波数を 1.0 GHz とする設計について検討した。その結果、LPDA 型光電界センサはアンテナ長を 1.77 倍することによって 1.0 GHz から動作できることを確認した。

キーワード 光電界センサ, 対数周期, アンテナアレイ, 光導波路, 電磁界シミュレーション

A Study on Lowering Frequency of Log-Periodic Dipole Antenna Array-Type Optical Electric Field Sensor

Akihisa TSUCHIYA[†] Hideaki SUGAMA[†] Naomi HIDAKA[†]

Shingo TSUJINO[‡] Osamu HASHIMOTO[‡]

[†] Kanagawa Industrial Technology Center

705-1 Shimoimaizumi, Ebina-shi, Kanagawa, 243-0435 Japan

[‡] Department of Electrical Engineering and Electronics, College of Science and Engineering

Aoyama Gakuin University

5-10-1 Fuchinobe, Chuo-ku, Sagamihara-shi, Kanagawa, 252-5258 Japan

E-mail: [†] tsuchiya@kanagawa-iri.jp

Abstract By using our improved Optical Electric Field Sensor (OEFS) that incorporates our Log-Periodic Dipole Antenna Array (LPDA-type), it is now possible to measure accurately an EMI. However, detectable bandwidth (1.8-6.0 GHz) of LPDA-type OEFS is partially higher than required bandwidth (1.0-6.0 GHz) of updated EMI standards for information technology equipment. In this paper, lowering detectable frequency of a LPDA-type OEFS is analyzed by using an electromagnetic field simulation that is combined with a newly developed computer program. As a result, we confirmed that a LPDA-type OEFS that length of antenna elements of was magnified by 1.77 times can measured Electric field above 1 GHz.

Keyword Optical Electric Field Sensor, Log-Periodic, Antenna Array, Optical Waveguide, Electromagnetic Field Simulation

1. まえがき

近年、情報通信機器の扱うデータ量は増加し、動作周波数も 1.0 GHz 以上と高速化している。これに伴い、情報通信機器から放射されるノイズを規制する EMC (電磁環境適合性) 試験において 1.0 GHz 以上の不要輻射波に対する規制を定めるようになった[1]。このた

め、ノイズ対策技術として 1.0 GHz 以上の電磁波をより正確に測定する技術が求められている。

このような状況において、配線ケーブルに非金属である光ファイバーを使用している光電界センサは同軸ケーブルを使用する金属製アンテナに比べ周りの電界分布に擾乱を与えずに測定できるため、電磁波を

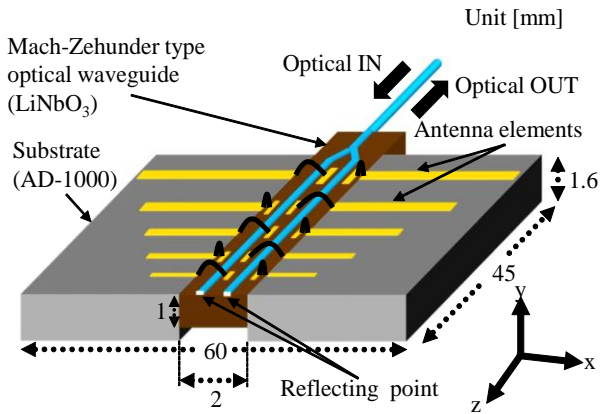


図1 LPDA-type OEFS の概要

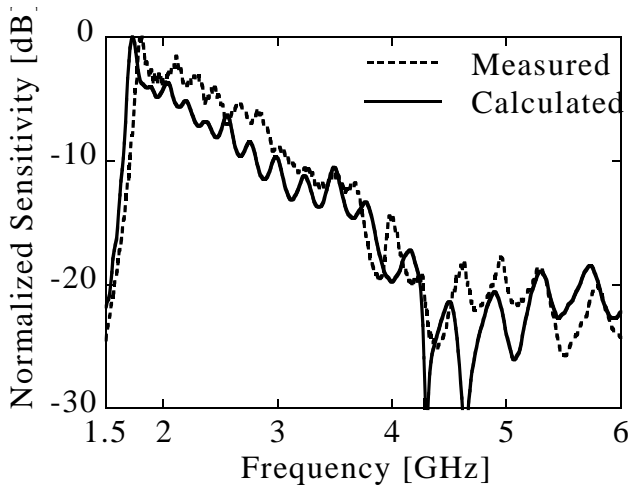


図2 LPDA-type OEFS の感度特性の解析結果

正確に測定する方法として注目されている[2]。我々はこれまでに Log-Periodic Dipole Antenna array 型光電界センサ(LPDA-type OEFS)を開発してきた[3][4]。この LPDA-type OEFS の受信電界強度は従来の光電界センサに比べ高く、また 1.8 から 6.0 GHz と広帯域である。しかしながら、この LPDA-type OEFS は EMC 規格において新たに要求されている 1.0 GHz 以上に対応するために更なる低周波化が必要である。このため、本研究では LPDA-type OEFS の受信下限周波数を 1.8 GHz から 1.0 GHz とするための検討を行った、その結果、光導波路長を従来の LPDA-type OEFS と同じ長さとし、アンテナ長のみ 1.77 倍することによって、1GHz から動作できることを確認した。

2. LPDA-type OEFS の動作原理及び解析方法

はじめに、LPDA-type OEFS の動作原理について述べる[4]。光電界センサは、電磁波を受けたアンテナに

よって生じる電極間電圧が光に強度変調を与えることによって、電磁波を検出することができる。図 1 に LPDA-type OEFS の概要を示す。LPDA-type OEFS はプリント基板に対数周期的に配置したアンテナと LiNbO₃ 製のマッハツェンダー型光導波路に配置された電極で構成されている。このアンテナと電極はワイヤボンディングで接続されている。この電極は、共振するアンテナの隣のアンテナの位相が共振アンテナに対して逆位相となるため、2本の導波路に対して交互に配置する位相反転構造としている[5]。光導波路は反射型となっており、 n 番目のアンテナが周波数 ω_{mn} で半波長共振するとき、電極は次の条件式 (1) を満たすように配置されている。

$$\omega_{mn} \cdot \frac{2l_n}{c} = 2\pi \quad (1)$$

l_n は n 番目の電極から反射点までの距離、 c は光の速度を表す。この条件を満たす位置に電極を配置することによって、反射型の光導波路は透過型に比べ 2 倍の受信感度を得ることができる。

この LPDA-type OEFS について次の手順を用いて感度特性を解析した[6]。はじめに、電磁界解析ソフト (CST 社製 MW-STUDIO Ver.2011)を用いて各アンテナで電磁波を受信した場合の電極間電圧と位相を求める。次に、各電極間電圧によって生じる光の位相変化量 δ を求めるため式(2)に電磁界解析によって得られた電圧と位相を代入する。

$$\delta = \frac{2r_{33}n_e^3\pi}{d\lambda_0} \sum_n^N (-1)^{n-1} l_n V_{mn} \left[\begin{array}{l} \sin(\omega_{mn}t - \phi_{mn}) \\ + \sin\left(\omega_{mn}\left(t - \frac{2l_n}{c}\right) - \phi_{mn}\right) \end{array} \right] \quad (2)$$

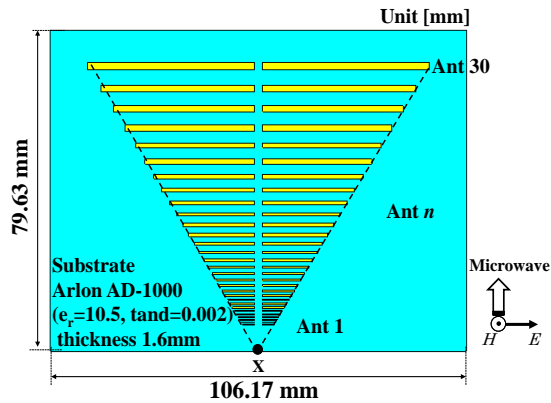
V_{mn} 、 ϕ_{mn} は n 番目のアンテナによる電極間電圧及び位相、 d は電極間隔、 r_{33} は電気光学定数、 n_e は導波路の屈折率、 λ_0 は光の波長、 t は時間を表している。求めた光の位相変化量は LPDA-type OEFS の出力光の強度変調と比例する。このため、光の位相変化量から感度特性を求めることができる。

この解析方法を用いて計算した光の位相変化量と測定した感度特性を図 2 に示す。測定値及び光の位相変化量は最大値を 0.0 dB として規格化している。得られた光の位相変化量は測定結果と概ね一致しており、この解析方法を用いて LPDA-type OEFS の感度特性を求められることを確認した。本検討では、この解析方法から感度特性を求め、低周波化の検討を行った。

3. 低周波型 LPDA-type OEFS

3.1. 解析モデル

1.0 GHz から受信感度を示すように LPDA-type OEFS のアンテナを設計した。



| | Ant 30 | Ant1 |
|------------------------------|--------|------|
| Length of Antenna element | 87.02 | 8.18 |
| Width of Antenna element | 1.77 | 0.17 |
| Length of Electrode | 4.72 | 0.44 |
| Length of waveguide [from X] | 70.78 | 6.65 |

図3 低周波型 LPDA-type OEFS の解析モデル

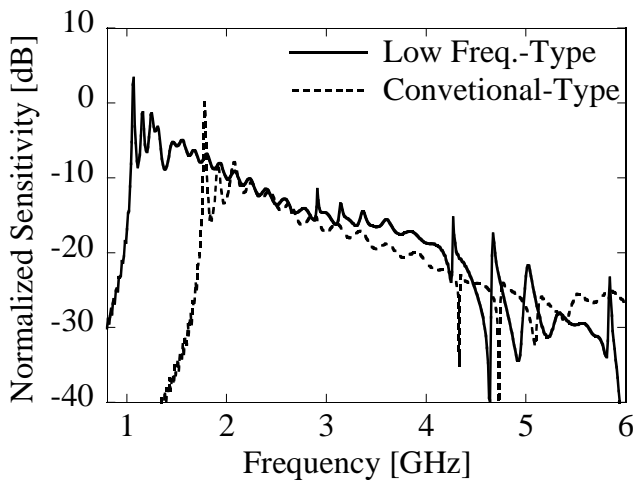


図4 低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性の解析結果

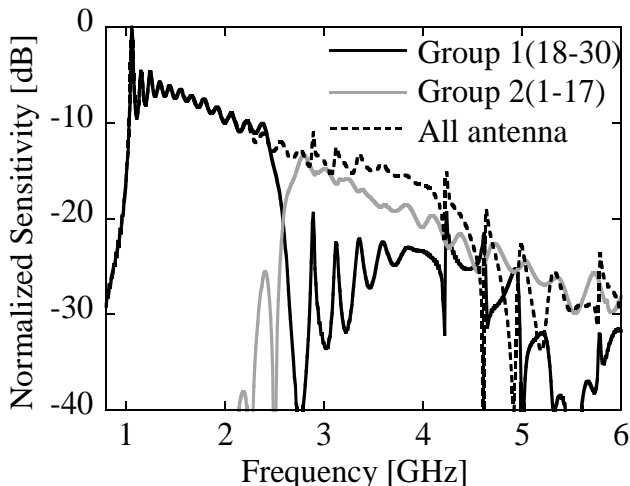


図5 各アンテナグループの感度特性の解析結果

従来の LPDA-type OEFS は 30 本のアンテナが配置されており、一番長いアンテナは 1.8 GHz、一番短いアンテナは 18.0 GHz で半波長共振するように設計されている。このアンテナ構造を踏まえて、1.0 GHz から動作するようにアンテナの長さ、電極長さ、反射点からの導波路長を 1.77 倍とした。図 3 に低周波型 LPDA-type OEFS の解析モデルを示す。これにより一番長いアンテナは 1.0 GHz、短いアンテナは 10.0 GHz で半波長共振する長さとした。電極を配置する光導波路長も 1.77 倍しており、その長さは 45.00 mm から 79.63 mm としている。この低周波型 LPDA-type OEFS と従来の LPDA-type OEFS について解析した。解析は LPDA-type OEFS の正面方向からの平面波を与えた場合の感度特性について求めている。

3.2. 感度特性の解析結果

図 4 に解析より求めた低周波型 LPDA-type OEFS と従来の LPDA-type OEFS の感度特性を示す。求めた感度特性は従来の LPDA-type OEFS の最大値を 0.0 dB として規格化している。低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性は 1.0 GHz で最大を示し、従来の LPDA-type OEFS と 1.8 GHz から 3.0 GHz まで同等の感度特性を示したが、3.0 GHz 以上でリップル構造が見られた。

この原因について解析するため、3.0 GHz 以下で半波長共振するアンテナをグループ 1(Ant18-30)、3.0 GHz 以上で半波長共振するアンテナをグループ 2(Ant1-17)と 2 つのグループに分けて感度特性を求めた。図 5 に各アンテナグループにおける感度特性を示す。低周波型 LPDA-type OEFS の最大値を 0.0 dB として規格化している。グループ 1 の感度特性は 2.4 GHz で受信感度が減少し、3.0 GHz 以上で高調波共振が起きている。一方、3.0 GHz 以上で動作するグループ 2 の感度特性に 3.0 GHz 以上でリップル構造はみられなかった。このことから、3.0 GHz 以上で見られるリップル構造による受信感度の乱れはグループ 1 のアンテナの高調波共振が影響していることを確認した。

4. 再設計した低周波型 LPDA-type OEFS

4.1. 解析モデル

実際に 1.0 GHz 以上から動作する LPDA-type OEFS を作製する場合、79.63 mm と長い光変調器の作製は難しい。そこで、アンテナのみ低周波に対応し、光変調器部分は従来と同じとする低周波型 LPDA-type OEFS を再設計した。図 6 に再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の概要を示す。導波路部分は条件式(1)を満たすことができないため、反射型ではなく透過型とした。この再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性を解析した。

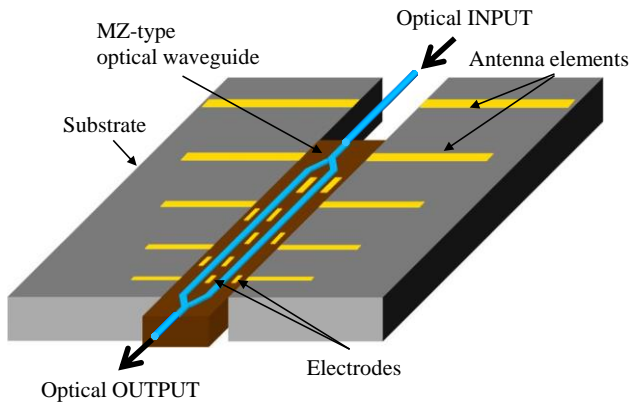


図 6 再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の概要

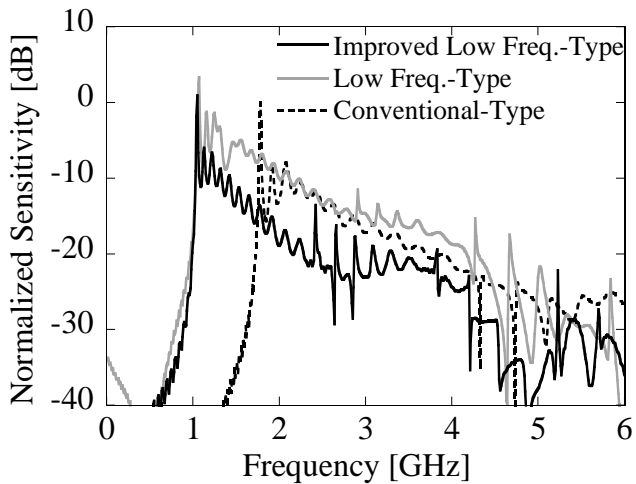


図 7 再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性の解析結果

4.2. 感度特性の解析結果

図 7 に再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性の解析結果を示す。解析した感度特性は従来の LPDA-type OEFS の 1.8 GHz における最大値を 0.0 dB として規格化している。再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性は光導波路を反射型から透過型にしたため、低周波型 LPDA-type OEFS に比べ 6.0 dB 低下していることがわかる。また、再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性に 2.5 GHz 以上でリップル構造が見られており、これは最大長のアンテナの高調波共振によるものである。これらの結果より、再設計した低周波型 LPDA-type OEFS はリップル構造がみられるものの 1.0 GHz から 4.0 GHz まで動作可能であることを確認した。しかしながら、4.0 GHz 以上においてアンテナの高調波共振によって感度特性が乱れていることから、高調波共振を抑制する構造が必要である。

5. まとめ

LPDA-type OEFS の受信下限周波数を 1.8 GHz から 1.0 GHz とするための検討を行った。その結果、低周波型 LPDA-type OEFS はアンテナ及び光変調器を 1.77 倍に拡大することによって、従来の LPDA-type OEFS と同等の受信感度を示すことを確認した。次に、実際に作製可能な導波路長を考慮して、導波路長は従来の導波路のままアンテナ長のみを拡大して解析した。その結果、再設計した低周波型 LPDA-type OEFS の感度特性は光導波路を反射型から透過型としたことによって 6.0 dB 低下したが、周波数特性は従来の LPDA-type OEFS と同様であった。しかしながら、感度特性はアンテナの高調波共振によって 4.0 GHz 以上において大きく乱れることを確認した。

今後は 4.0 GHz 以上で見られる感度特性の乱れを改善するため、高調波共振による影響を抑制するアンテナ構造について検討する予定である。

文 献

- [1] CISPR22 Ed.6.0:2008 (b), “Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement,” Jan. 2008.
- [2] H. Togo, N. Shimizu, and T. Nagatusma, “Near-field mapping system using fiber-based electro-optic probe for antenna characterization,” IEICE Trans. Electron., vol.E-90-C, no. 2, pp. 436-442, 2007.
- [3] N. Hidaka, K. Kobayashi, H. Sugama, R. Usui, Y. Tanabe, and O. Hashimoto ; “Log-Periodic Dipole Antenna Array-type Optical Electric Field Sensor ”, IEICE Trans. Electron., Vol.E88-C No. 1, 98-104, Jan.2005.
- [4] 日高直美, 菅間秀晃, 土屋明久, 辻野真吾, 石田武志, 橋本修, “マイクロ波帯域において高感度な光電界センサ,” 信学論(B), Vol.J97-B, no.3, pp.253-262, Mar. 2014
- [5] 大林亮佑, 菅間秀晃, 日高直美, 臼井亮, 土屋明久, 小林賢, 石田武志, 中村孝, 橋本修, “LPDA 型光電界センサにおけるアンテナ素子の位相関係と感度特性の検討”, 信学技報. EMCJ, MW, 106(129), pp. 47-52, Jun. 2006.
- [6] S.Tsujino, H.Sugama, A.Tsuchiya, K.Miyamoto, N.Hidaka, and O. Hashimoto, “A Proposed Method for Sensitivity Analysis of Log-periodic Dipole Antenna Array-type Optical Electric Field Sensor” PIERS Proc., KL Malaysia, pp.1610-1614, Mar.2012.