

## 直接変調電気/光(EO)変換器を用いた電磁界測定

大西 輝夫<sup>†</sup> 石原 哲<sup>†</sup> 東山 潤司<sup>†</sup>

<sup>†</sup>株式会社 NTT ドコモ 〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-6

E-mail: <sup>†</sup> oonishite@nttdocomo.com

**あらまし** 直接変調電気/光 (EO; Electrical to Optical) 変換器を試作し, その性能について評価を行った. 試作した EO 変換器は, 直接変調レーザーとして小型で消費電力が少ない面発光レーザー (VCSEL; Vertical Cavity Surface Emitting Laser) を用い, VCSEL は光入力を光電変換し駆動している. 試作機を評価した結果, 仕様帯域の下限付近と上限付近で特性が若干劣化するものの 10 MHz ~ 6 GHz の周波数で, 最低検出感度として約 -80 dBm が得られた. また, 入力レベルによらず時間的に安定していることを確認した. さらに, 本 EO 変換器を用いた実測例として携帯電話端末極近傍の電界強度の測定を行った.

**キーワード** 直接変調電気/光変換, 面発光レーザー, 光給電, 電磁界測定

### Electromagnetic Field Measurement

### Using the Directly Modulated Electrical to Optical Conversion

Teruo ONISHI<sup>†</sup> Satoshi ISHIHARA<sup>†</sup> and Junji HIGASHIYAMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NTT DOCOMO, INC. 3-6, Hikarino-oka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-8536 Japan

E-mail: <sup>†</sup> oonishite@nttdocomo.com

**Abstract** A prototype of direct modulated Electrical to Optical (EO) converter is evaluated. Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) is adopted as a directly modulated laser because of small size and less energy consumption. In addition the VCSEL is driven by optical power supply. As a result it is shown that the minimum sensitivity is approximately -80 dBm from 10 MHz to 6 GHz frequency range though the sensitivity is slightly deteriorated at the lowest and highest frequencies. Furthermore it is confirmed that output of Optical to Electrical (OE) converter is temporally stable regardless of input level. Then electric field measurement around a mobile terminal conducted using the converter.

**Keywords** Directly modulated Laser, Electro to Optic conversion, VCSEL, Optical power supply, Electromagnetic field measurement,

#### 1. まえがき

近年, 携帯電話システムに加え例えばワイヤレス充電[1]など様々な用途への電波利用が促進されている. 携帯電話端末を含めそれらの機器は, 人体近傍で使用される可能性が高いため人体へのばく露量の把握や, さらに医療機器などの電子機器類への干渉検討が重要である. そのためには電波放射源近傍における電磁界分布を精度良く測定することが必要であり, 一般に微小ダイポールや微小ループアンテナで構成されるセンサープローブが用いられているが[2], 波源近傍にアンテナや同軸ケーブルなどの金属が存在することによる測定結果への影響には注意が必要である. これらの問題を解決するための手段の一つとして従来, 電気光学

効果(EO; Electrical to optical)を利用した電磁界測定の研究開発がなされており[3][4], EO 結晶など非金属材料で構成されるセンサと感度向上のために結晶にアンテナを付加したセンサが主に使用されている. 更に最近では, EO 結晶の代わりに小型のレーザーダイオードを直接駆動して EO 変換する手法も用いられている[5][6]. 筆者らも, 小型でバッテリー駆動の EO 変換器を用いて 5 MHz 帯における人体近傍の電界分布の測定を行いその有効性を確認している[7]. 一方で, バッテリー駆動のため連続測定が困難であること, 周波数範囲が 10 kHz ~ 50 MHz と低く UHF 帯などの測定ができないなど問題があった.

そこで本稿では, 周波数範囲を 10 MHz ~ 6 GHz と拡

張し、バッテリー駆動の代わりに光で給電する装置を開発し評価を行ったので報告する。

## 2. 直接変調 EO 変換器

本研究では、直接変調レーザー発振器として小型で消費電力が少ない面発光レーザー（VCSEL; Vertical Cavity Surface Emitting Laser）を用いた。駆動用の入力部分は RF 入力の整合を考慮し入力インピーダンスを  $50\Omega$  とした。但し、装置への組み込みも考慮して RF 入力部は着脱可能な SMA コネクタを採用している。図 1 に製作した EO 変換器の外観写真を示す。本装置は RF 入力端に電気信号を入力し、EO 変換器で波長 850 nm の光に変換した後、光ファイバにより信号を伝送し光/電気（OE; Optical to Electrical）変換器で電気信号に変換する。また OE 変換器とは別に、光給電用の光源により、図 1 の光給電側に光給電を行う。光電変換後の給電電流は 20 mA であり、VCSEL を駆動するには十分である。本 EO 変換器には金属が含まれるが、信号伝送及び給電には光ファイバケーブルを使用しているため、電磁界への影響はほとんどない。試作した変換器について、主に入出力特性および安定性について評価を行った。

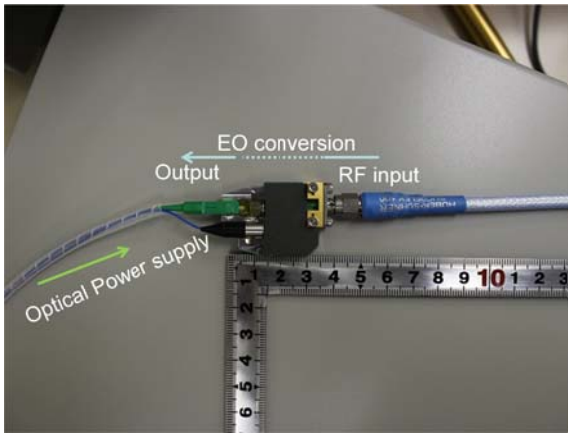


図 1 EO 変換器外観

### 2.1. 入出力特性

ネットワークアナライザを用いて電気信号入力端での反射特性 ( $S_{11}$ ) および入力端から OE 出力端までの伝送損失 ( $S_{21}$ ) を評価した。図 2 に結果を示す。 $S_{11}$  は、着脱式のコネクタの影響で若干特性にばらつきはあるものの、1 GHz 以上では概ね良好な結果が得られた。また伝送損失は約 10 dB であることを確認した。次に信号発生器より 100 MHz, 2 GHz, 6 GHz の電気信号を入力し、OE の出力レベルをスペクトラムアナライザを用いて測定を行った。比較のために 100 kHz の測定も行っている。スペクトラムアナライザの RBW は 100 Hz とした。結果を図 3 に示す。それぞれの周波数におい

て、図 2 の結果と同様に入力に対して約 -10 dB 低い出力が、入力レベル -10 dBm ~ -100 dBm 程度まで得られていることがわかる。更に、近似直線からのずれが  $\pm 0.5$  dB 以内を線形と定義すると、各周波数での最低検出感度は表 1 の通りとなる。適用周波数の下限および上限で 5 dB 程度感度が劣化しているが、概ね -75 dBm ~ -80 dBm の検出が可能である。

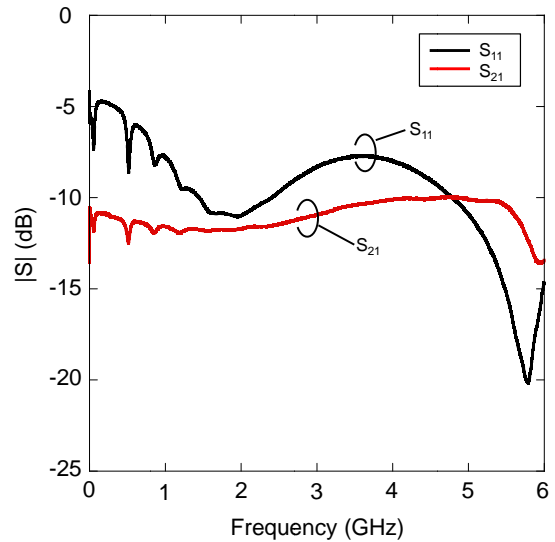


図 2 入出力周波数特性

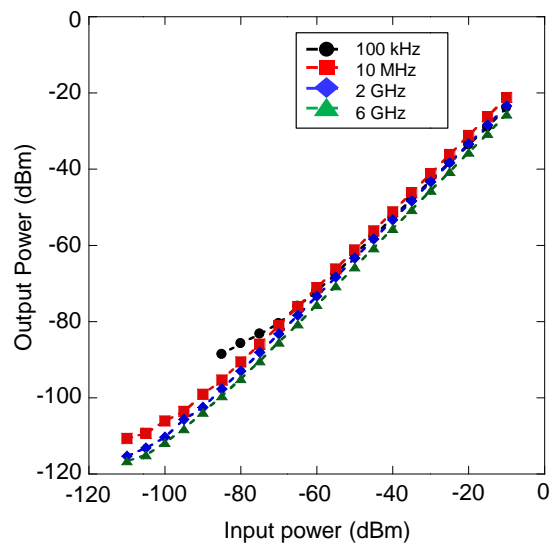


図 3 線形性と最低検出感度

表 1 最低検出感度測定結果

周波数	感度 (dBm)
100 kHz	-60
10 MHz	-75
2 GHz	-80
6 GHz	-75

## 2.2. 安定性

時間安定性について評価を行った。図4は、電気信号として-22 dBmを入力した際の1時間における安定性を表している。図4に示す通り各周波数においてばらつきは小さく、標準偏差で0.2 dB程度と安定している。図は割愛するが入力を変えて-72 dBmとした場合においても同様の結果が得られた。

また、温度特性について+5°C~+35°Cの範囲で約0.3 dBの変動であることを確認している。

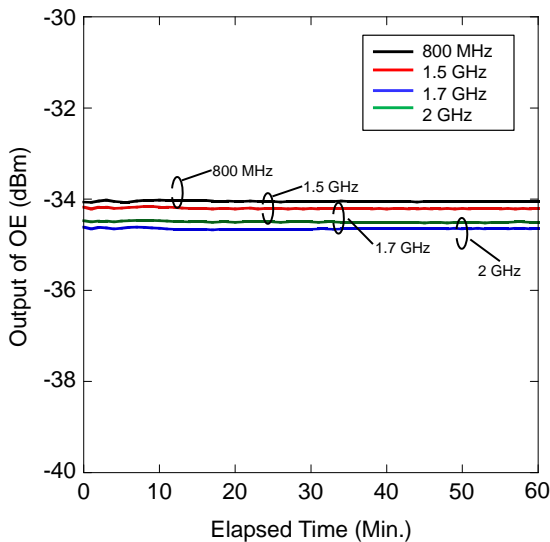


図4 時間安定性 (-22 dBm 入力)

## 3. EO 変換器を用いた実測例

EO 変換器を用いて携帯電話端末近傍におけるアンテナ出力をモニターした。携帯電話端末の基本動作を確認するために、実測は電波暗室内で行い携帯電話端末の制御は模擬基地局を用いた。図5に測定結果例を示す。横軸は、模擬基地局から端末へ要求する端末出力を表しており、縦軸は OE 変換器の出力である。模擬基地局からの要求値に応答して端末から生じる電界強度が大きくなるが、ある値で飽和していることがわかる。これは端末の最大送信電力を超えているためである。また、周波数により出力が異なるのは、端末の無線回路とアンテナ特性によるものである。

## 4. まとめ

光給電直接変調型 EO 変換器を試作し、その性能について評価を行った。その結果特性が若干劣るものの当初仕様の 10 MHz でなく 100 kHz ~ 6 GHz の周波数で使用可能なことがわかった。また、本 EO 変換器を用いた実測例として携帯電話端末極近傍の電界強度の測定を行った。今後は、本変換器を電磁干渉などの評価に使用する予定である。

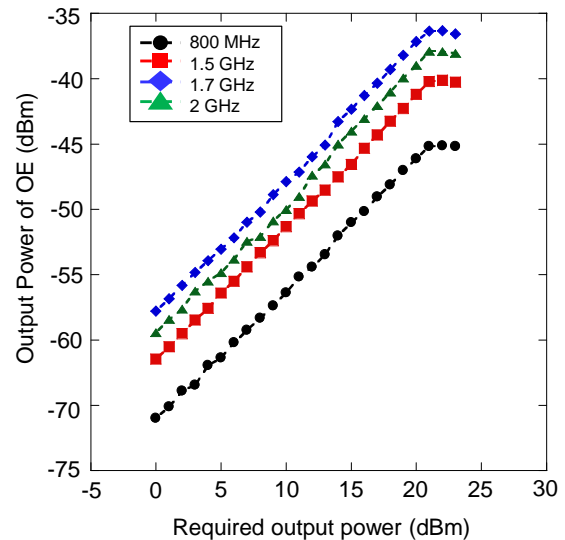


図5 端末近傍電界測定例

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、有益な助言を頂きました株式会社多摩川電子の柳澤幸樹氏に感謝いたします。

## 文献

- [1] 庄木, “ワイヤレス電力伝送技術の実用化のための制度と標準化,” 信学会誌 vol. 95, no. 1, pp. 51-56, 2012.
- [2] T. Schmid, O. Egger, and N. Kuster, “Automated E-field scanning system for dosimetric assessment,” IEEE Trans. MTT-44, no. 1, pp. 105-113, Jan. 1996.
- [3] 桑原, “電気光学効果を用いた電磁界センサの歴史と今後の課題,” 信学論 Vol. J97-B, no. 3, pp. 235-242, March 2014.
- [4] 永妻, 久武, “電気光学効果を利用した電磁界計測技術の動向,” 信学論 Vol. J97-B, no. 3, pp. 243-252, March 2014.
- [5] W. Mann and K. Petermann, “VCSEL-based miniaturized E-field probe with high sensitivity and optical power supply,” Electronics Letters, vol. 38, issue 10, pp. 455 – 456, May 2002.
- [6] S. Kuehn, M. Wild, P. Sepan, E. Grobelaar, and N. Kuster, “Automated near-field EMC/EMI scanning system with active electro-optical field probes,” Proc., 2012 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and System Symposium (EDAPS), pp. 109-112, Dec. 2012.
- [7] 石原, 大西, “電気/光変換技術を用いた MHz 帯における波源近傍の電界分布測定,” 信学論 Vol. J97-B, no. 3, pp. 286-293, March 2014.