

## 光磁界測定システムの開発

上條憲一<sup>○</sup> 畑康広<sup>○</sup> 日高邦彦\* 水戸慎一郎\*  
森田テック株式会社 東京大学 東京高等専門学校

**Nearfield Magnetic Sensing Equipment  
by the method of magneto-optics crystal sensing  
Ken'ichi Kamijo, Yasuhiro Hata, Kunihiko Hidaka, Shinichiro Mito  
MORITA TECH, The University of Tokyo, Tokyo National College of Technology**

**Abstract:** This paper describes the development of Nearfield Magnetic Sensing System by the method of magneto-optics crystal sensing. Magneto-optics crystal sensing method enables noninvasive nearfield magnetic sensing without the effect of outside electromagnetic noise. This equipment is highly effective for nearfield magnetic sensing at electromagnetic immunity test.

**Key Words:** noninvasive nearfield magnetic sensing, magneto-optics crystal sensing

### 1. はじめに

外来電磁波による電装回路への影響を評価する電磁波イミュニティ試験は、強電磁界を発生させた空間に電装基板を設置して、電装基板の近傍界電磁波ノイズ測定により、局所電流の変化を測定する事が必要であるが、外来電磁界に対する非侵襲性の高い実用型磁界センサーの入手が困難である事が課題であった。

NECから森田テックへの技術移転（NEC特許第5590340号）により、指向性が高く外部電磁界に対する非侵襲性が高い、磁気光学晶と光学部品を用いた光磁界プローブによる、光磁界測定システムの開発を行った。

### 2. 磁気光学結晶

本システムでは、磁気光学結晶のファラデー効果を用いて磁界の検出を行う。ファラデー効果による偏光面の変化量はファラデー回転角と呼ばれ、以下の式(1)に従う<sup>[1]</sup>。ここで、 $\theta_F$  : ファラデー回転角、 $l$  : 試料長、 $H$  : 磁界、 $V$  : 物質固有の比例定数(ベルデ定数)である。

$$(1)$$

式(1)より、ファラデー回転角は磁界に応じて変化するため、ファラデー回転角を測定することで磁界の変化を求められると分かる。

光磁界プローブへの応用を考える場合、磁界に対して大きく、直線的にファラデー回転角が変化する磁気光学結晶が望ましい。また、ある程度の透過率も必要である。そこで本装置では、ビスマス置換型磁性ガーネット結晶を用いた。磁性ガーネットは、基本組成を  $Y_3Fe_5O_{12}$  とする透明磁性体である。特に赤外波長において優れた透過率を有しており、光通信用アイソレータ等に用いられている。イットリウムとビスマスを置換することで、透過率を維持したままファラデー効果を高められることが知られており<sup>[2]</sup>、本システムでもビスマス置換型の結晶を用いた。

図1に、本システムで用いた磁気光学結晶の、波長 1550nm におけるファラデー回転角と磁界の関係を示す。磁界に対してファラデー回転角が直線的に増加し、0.8kOe 付近で飽和していることが分かる。飽和ファラデー回転角は約 75 度であった。このことより、システムに用いたビスマス置換磁性ガーネット結晶は、光磁界プローブに適した線形性とファラデー回転角を備えているといえる。

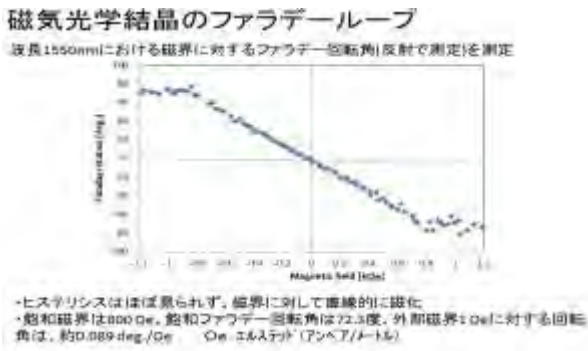


図 1

### 3. 光磁界プローブ

光ファイバーの先端に、光学レンズと磁気光学結晶を取り付ける事により光磁界プローブを製作した。図 2 に、開発した光プローブの概要を示す。磁気光学結晶を光ファイバーの先端に取り付け、結晶先端は HR コートを施して全反射状態にした。ファイバーより投入したレーザー光 (1550nm) は磁気光学結晶を通過し、HR コートで反射してファイバーに戻ってくる。磁気光学結晶を通過する際に起こるファラデー効果を測定することで、磁界強度を測定する磁界プローブとした。



図 2

### 4. 光磁界プローブの開発

#### 4-1 光磁界プローブの感度実験

東京大学日高研究室の協力により光磁界プローブの感度試験を行った。レーザー光軸に対して、磁化方向が異なる (0° / 90°) 2 種類の磁気光学結晶を使用して比較テストを行った。

光磁界プローブを放電電極に近接させ、10kHz、5mA のパルス電流を放電電極に印加して、放電が起きた時に磁界を測定した。この実験によりレーザー光軸と磁気光学結晶の磁化方向の角度が 0° の時に感度が高い事を確認した。図 3 は実験風景、図 4 は、レーザー光軸に対して磁気光学結晶の角度を変えた時の感度比較 (0° / 90°) である。

以下に、実験に使用した機器を示す。

- DFB レーザー (λ = 1550nm)
- 光パワーアンプ
- 偏波コントローラ
- 検光子
- 光サーキュレータ
- 光磁界プローブ A (MO 結晶サイズ: □300 μm, t = 0.38mm レーザー光軸に対する磁化方向: 0°)
- 光磁界プローブ B (MO 結晶サイズ: □300 μm, t = 0.1mm レーザー光軸に対する磁化方向: 90°)
- 光アンプ・フォトディテクター (帯域: DC ~ 250MHz)
- オシロスコープ



図 3 実験風景

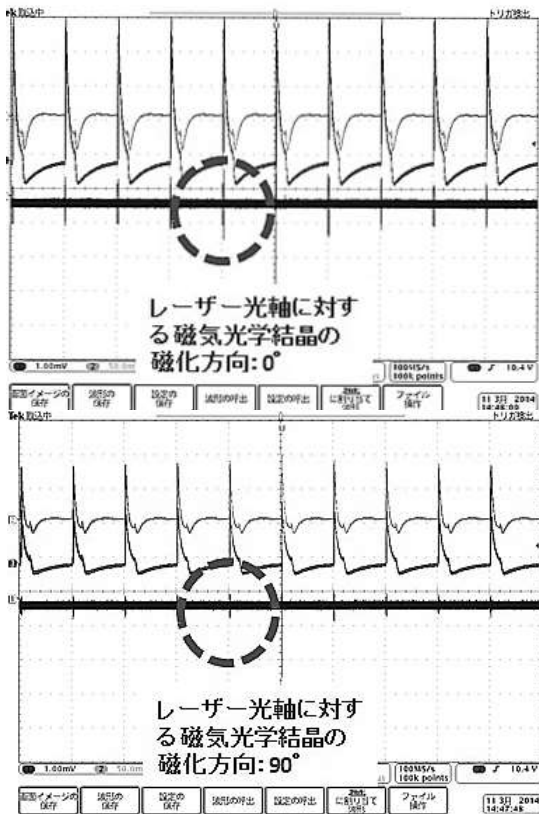


図4 オシロスコープの画像

#### 4-2 光磁界プローブの感度特性

光磁界プローブの感度を検証するため Helmholtz Coil の磁界強度が一定になる中央部に光磁界プローブとコイル式磁界プローブを挿入して評価を行った。(図5参照)

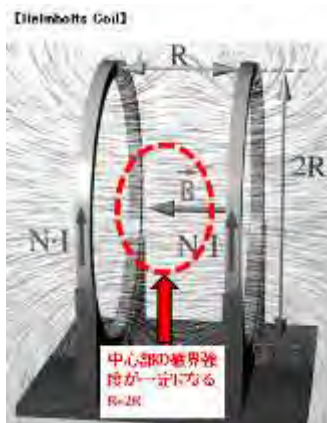


図5

コイル式の磁界プローブは、図5のHelmholtz Coil 中央部でプローブの方向の違いによる感度が見られないのに対して、光磁界プローブは磁界方向にのみ感度を有する事を確認した。

図6は、光磁界プローブとコイル式磁界プローブ (VC10) を Helmholtz Coil 中央部で磁界方向に向けた時の感度比較である。

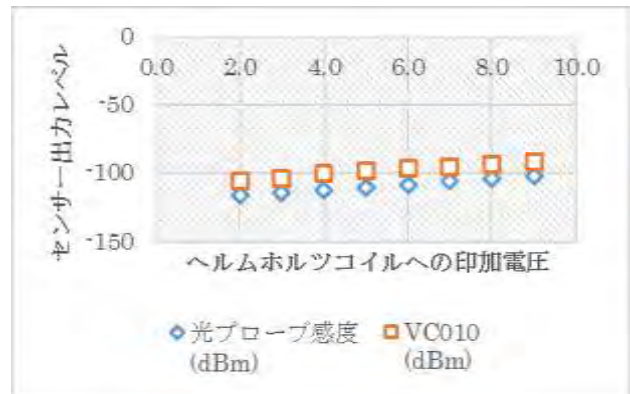


図6

図7は、コイル式磁界プローブ (VC10) のファクターである。

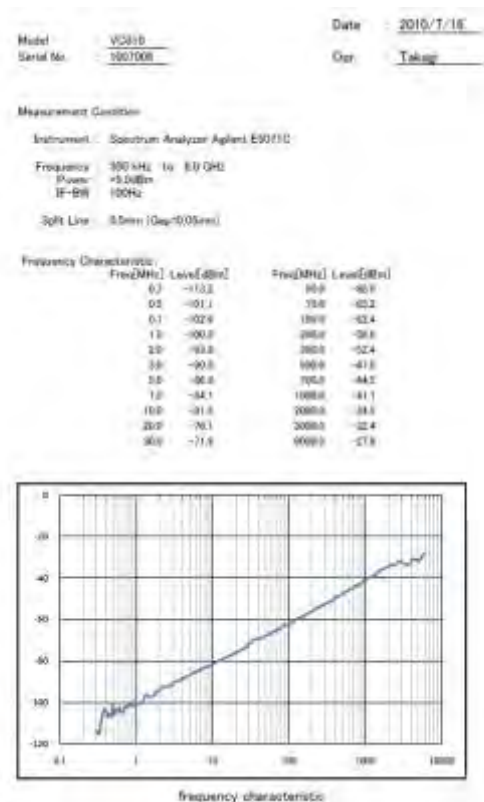


図7

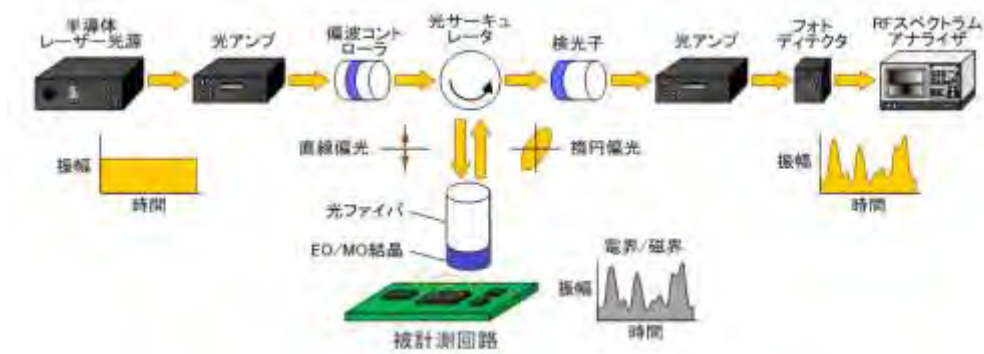


図9 装置構成

磁界強度が一定になるHelmholts Coil中央部に於いて、コイル式磁界プローブは全方向に対して感度があるのに対して、非侵襲性の高い光磁界プローブは、Helmholts Coilの磁界方向に対してのみ感度がある。Helmholts Coilによる磁界immunity テストでは磁界方向が決まっている為、Helmholts Coil中央部に置いた測定物に光磁界プローブを近接させる事により、Helmholts Coilが発生する磁界により測定物の電装回路が誤動作して、測定物が放射する近傍界磁界ノイズを正確に測定する事が可能である。この光磁界プローブにより、DC～1MHzの周波数帯域の測定が可能な事を確認した。

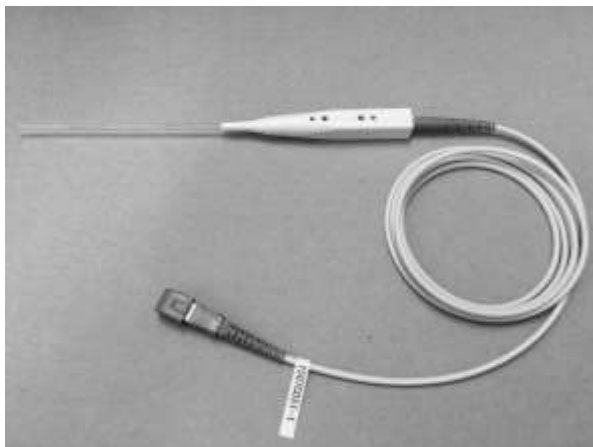


図8 光磁界プローブ

### 5 光磁界測定システムの構成機器

光磁界プローブによる近傍磁界測定は、レーザー光源、光アンプ、偏波コントローラ、光サーキュレータ、検光子、フォトディテクター、及びスペクトラムアナライザにより行う。

光通信波長は、高性能機器が多い1550nmを選択した。図9の構成の中で特に、レーザー光源、光アンプ、及び光ディテクターの性能が重要である。レーザー光源は、DFBレーザーと比較してノイズの少ない fabri-perotレーザーを選択した。光アンプは、低ノイズタイプを選択し、また、電源ノイズの影響を受けやすいフォトディテクターは、バッテリータイプを選択した。これらの機器により、安定した光磁界測定が可能となった(図9参照)

### 5. 結言

磁気光学晶と光学部品を用いた光磁界プローブによる、DC～1MHzの周波数帯域に対応する光磁界測定システムを開発した。光磁界センサーは非侵襲性が高く、電磁波Immunity試験に於いて外来電磁波の影響を受けずに、電装基板回路から放出される局所近傍磁界を測定する事が可能になった。

異なるタイプのGarnet結晶を使用する事により1GHzまでの周波数帯域への対応も可能である。

## 文 献

佐藤勝昭：光と磁気[改訂版]，朝倉書店(2001)

Wittekoek, S., Popma, T. J. A., Robertson, J. M., Bongers, P. F.: Magneto-optic spectra and the dielectric tensor elements of bismuth-substituted iron garnets at photon energies between 2.2-5.2 eV, *Phys. Rev. B* **12**, p. 2777 (1975)

日高邦彦：オプトエレクトロニクスを応用した電界測定，電気学会誌，Vol. 107, No. 2, pp. 156-157 (1987- 2)

日高邦彦：電気光学効果による電界測定ポッケス効果 応用物理学会誌，Vol. 61, No. 7, pp. 735-736 (1992-7)  
**12**, p. 2777 (1975)

日高邦彦：光センサーによる高電圧計測技術，電気評論，第90巻，第8号，pp. 56-61 (2005-08)

K. Hidaka: On the better understanding of electrical discharge phenomena through advanced measurement technologies, Proceedings of the 17th International Conference on Gas Discharges and their Applications, invited lecture, Cardiff, UK, pp. 57-69 (2008)

岩波瑞樹：光ファイバーセンサーによる電界／磁界計測 光アライアンス 2008. 3

Mizuki Iwanami: Magnetic Near-Field Measurements Over LSI Package Pins by Fiber-Edge Magneto-optic Probe