赤外線 2 次元ロックインアンプによる 3 次元電磁界強度分布測定

正 員 前野 恭^{*,**} 学生員 千代 憲隆^{**}
正 員 田中 康寛^{**}

Three-dimensional Electromagnetic Field Intensity Measurement using an Infrared Two-dimensional Lock-in Amplifier

Takashi Maeno^{*,**}, Member, Noritaka Chiyo^{**}, Student Member, Yasuhiro Tanaka^{**}, Member

We have developed a three-dimensional electromagnetic field intensity measurement system using an infrared two-dimensional lock-in amplifier. This system uses an amplitude modulated electromagnetic source to heat an absorption screen. Electromagnetic field intensity distributions are converted to temperature images on the screen. The temperature images can be observed by infrared thermography, the variation of which can be detected by the amplifier system. The system can detect very small changes, less than 1/100 K, in temperature image on the absorption film. This inexpensive measurement system should therefore be very useful in detecting electromagnetic field distributions rapidly without using any antenna.

キーワード : 電磁界強度測定, 電磁界強度の可視化, 2 次元ロックインアンプ, 赤外線カメラ

Keywords : electromagnetic field intensity measurement, visualization of electromagnetic field, 2-D lock-in amplifier, infrared camera

1. はじめに

3 次元電磁界分布を測定するにはアンテナを 3 次元に走査し, 検出された電磁波強度を求める必要があったために, 測定に時間がかかること, 測定用アンテナ自体が電磁界分布を乱すことが問題であった。本装置はコンピュータを用いた 2 次元のロックインアンプ (同期検波処理) により⁽¹⁾⁽²⁾, 2 次元電磁界強度分布を機械的走査することなしに求めることができ, これを 2 次元平面と直交する方向に走査することで 3 次元電磁界強度分布が得られる。また, 測定に必要な検出幕は誘電体であり, 検出装置自体が電磁界強度分布を乱すことは少なく, 測定周波数依存性も低い。

2. 3 次元電磁界強度分布測定法

従来の測定法の持つ問題解決のため, 電磁波を吸収し発熱する幕により平面の 2 次元電磁界強度分布を温度分布に変換し, 温度計測用の赤外線カメラにより幕の温度分布を測定することで 2 次元電磁界強度分布を得る提案がある⁽³⁾。しかしながら, 一般の, 電磁波による加熱を目的としない電気機器の場合, 放射電磁界の加熱による温度上昇はわずかである。一方, 幕の温度分布は周囲の環境 (測定対象や近傍の熱源の輻射による加熱や反射, 雰囲気との対流など)

Fig. 1. 3-D electromagnetic field measurement system.

により大きく影響を受け, 1K 程度の不均一さを持って揺らいでいる。したがって, 放射電磁界によるわずかな温度上昇をこのような擾乱から分離して検出することは困難である。また, 揺らぎ雑音低減のために長時間の平均化を行うと幕内での熱拡散により空間分解能が著しく低下する。

本装置の構成を図 1 に示す。装置は電磁波分布を発熱による温度上昇に変換する幕と, 温度分布を検出する赤外線カメラ, および周期的変化分を検出・平均化するコンピュータからなる。本装置では, 電気機器の作動を周期的に ON/OFF するなどにより, 放射電磁界強度を変化させる。変化の周期と同期した画像取り込みを行い, コンピュータ内で加熱画像と冷却画像の差を求め平均化することで, 同期検波処理を行う。このような手法により通常では検出が困難な, 2 次元平面のわずかな温度変化分布を求めることができる。

3. 電磁界強度分布の測定例

電磁波吸収幕としては, 半導体素子の静電気破壊防止のためのパッケージに使われているカーボン混ぜた高分子

* 情報通信研究機構
〒184-8795 小金井市貫井北町 4-2-1
National Institute of Information and Communications Technology,
4-2-1, Nukui Kita, Koganei 184-8795

** 武蔵工業大学
〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1
Musashi Institute of Technology,
1-28-1, Tamazutsumi, Setagaya-ku Tokyo 158-8557

Fig. 2. Electromagnetic field distributions on absorption film : (a) measured an optical CCD camera, (b) measured 2-D infrared lock-in amplifier system, (c) cross section of the 3-D distribution.

フィルム (100 μ m 厚) を用いた。波源としては、赤色の高輝度 LED (中心波長 625nm, 全出力 8mW) を使い、1 秒間点灯、3 秒間消灯とした。白色のスクリーンに投影することで、電磁波(光)強度分布を可視光の CCD カメラで容易に測定できる。また、吸収幕での吸収はほぼ 100% とみなせる。

白色スクリーンで求めた光強度分布を図 2 の上段(a)に、赤外線 2-D ロックインアンプで求めた電磁界強度分布を下段(b)に示す。左から、LED からの距離 $d=5, 10, 15, 20, 25$ cm の位置の 2-D 分布である。各々最大強度で規格化して色表示しており、カラーバーは 25cm の測定結果のものである。カメラは、TVS-700 (日本アビオニクス社製、検出波長 8-14 μ m, 分解能 0.08 $^{\circ}$ C, 画素数 320 $\times$ 240) 撮像範囲 6 $\times$ 8cm, 各画像 3 分間の平均である。温度差は同期検波処理により 1/100K 以下まで測定可能である。(a),(b)の各画像はよく一致しており、比較的低い電磁波強度領域でも測定が可能である。さらに、5mm 間隔でこのような測定を行い、LED の放射光軸上の断面を 3 $\times$ 25cm の範囲で求めた結果を(c)に示す。

本装置では、電磁波吸収幕の吸収率が 1% 程度あれば、1W の波源の放射電磁界強度分布が測定可能と見込まれる。

4. おわりに

電磁波を熱に変換する幕として、本実験のように導電性を持つ高分子フィルム (ジュール熱による変換) を用いた場合、検出幕自体は周波数依存性が低く、広帯域な検出装置が期待できる。また、電磁波吸収体としてフェライトなどの磁性体や誘電体を用いれば、ヒステリシス損、誘電損による電磁波-熱変換を利用することができる。この場合、吸収幕の構造、組成により適当な周波数での吸収を設定することができ、幕自体が周波数選択性を持つことになる。さらに、カーボン繊維のような吸収率異方性を持つもので幕を構成することで、電磁波の偏波解析が可能となる。適

当な吸収幕を選択することにより、テラヘルツ領域での測定にも応用が可能と思われる。

(平成 19 年 2 月 27 日受付, 平成 19 年 4 月 17 日再受付)

文 献

- (1) T. Maeno, A. Nishikata, T. Itabe, N. Hiromoto, and T. Takada : "Two-Dimensional Lock-in Amplifier System : A New Technique for Improving the Depth Resolution in Microscopic Imaging", *T. IEE Japan*, Vol.112-C, No.8, pp.474-479 (1992-8) (in Japanese)
前野 恭・西方敦博・板部敏和・廣本宣久・高田達雄 : 「2 次元ロックインアンプによる顕微鏡画像の深さ方向分解能の改善」, 電学論 C, **112**, 8, pp.474-479 (1992-8)
- (2) T. Tashita, Y. Tanaka, T. Takada, and T. Maeno : "Detecting Defects in Polymer Plates by using an Infrared 2-D Lock-in Amplifier System", *T. IEE Japan*, Vol.117-E, No.12, pp.600-606 (1997-12) (in Japanese)
田下貴久・田中康寛・高田達雄・前野 恭 : 「赤外線二次元ロックインアンプによる高分子材内部の欠陥検出」, 電学論 E, **117**, 12, pp.600-606 (1997-12)
- (3) J. Norgard and R. Musselman : "CEM code validation using infrared thermograms", *International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp.637-640 (2004)

前 野 恭 (正員) 電学論 A, Vol.126, No.7 (2006) 参照

千 代 憲 隆 (学生員) 1984 年 5 月 31 日生。2007 年 3 月武蔵工業大学工学部機械システム工学科卒業。同年 4 月同大学大学院工学研究科入学。現在に至る。

田 中 康 寛 (正員) 電学論 A, Vol.126, No.7 (2006) 参照