

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420245

研究課題名(和文)大電力機器近傍磁界の遮へい材の開発

研究課題名(英文)Shielding Material Development for Magnetic Near Field around High-Power System

研究代表者

畠山 賢一 (Hatakeyama, Kennichi)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号：80305680

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は大電力機器筐体の磁界遮へいについて検討したものである。筐体には高導電率金属による磁気遮へい効果が要求されるが、一方、放熱のために穴あき金属板を用いなければならず、遮へい効果を低下させる。本研究では、近傍界における穴あき金属板の遮へい効果を理論的に見積り、実験的に確認した。さらに、磁界遮へいに優れる穴のあけ方について検討し、穴あき金属板を置く位置の磁界の強弱を考慮して穴を設けることで遮へい量を向上できることを実験的に示した。

研究成果の概要(英文)：Shielding effect of periodically/non-periodically perforated metal plate for near field is studied theoretically and experimentally. For electric power unit case, metal plate is preferable for magnetic field shielding, however, the plate with holes is required for ventilation. In this study, the shielding effect with metal plates with holes are estimated theoretically and confirmed by experiments. The transmitted fields from the holes depend on the holes size and the incident magnetic fields to the holes. The radiation from the holes is weak, if incident fields to the holes are weak. The shielding of the metal plate with holes is effective when the incident fields are weak at the holes.

研究分野：電磁環境工学

キーワード：電磁遮へい 磁気遮へい 穴あき金属板 磁気ダイポール

### 1. 研究開始当初の背景

ハイブリッド自動車、電気自動車、各種電動機器などの大電力機器は近年身近な装置として普及し始めている。一方、大電力機器で発生する磁界の遮へい技術は十分ではなく、ますます高感度化する周辺機器への電磁干渉が懸念されている。

大電力装置電源部ではスイッチング動作に伴って数 100Hz から 100MHz におよぶ高調波電磁波が発生されるので、これらの放射を防止する電磁遮へいが必要である。電磁遮へいは遠方界遮へいと近傍界遮へいに分かれる。本課題は発生源近傍の低周波磁界を対象にするので、近傍界の磁界遮へいである。遠方界遮へいについては従来より多くの遮へい材、遮へい手法の研究があるが、近傍界の磁界遮へいについては十分な検討はされていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

磁界発生源の近傍における電磁界の特徴は、波動インピーダンス  $\eta$  (イータ) の絶対値が、周波数が低くなるほど、また発生源からの距離が短くなるほど小さくなることであり、このことが、導電性遮へい材の遮へい効果を低くしてしまうことである。したがって、遠方界で遮へい材としてよく用いられる導電性樹脂などは、近傍界磁界遮へいに対しては遮へい量が小さくなり、効果的な遮へい材ではなくなってしまう。

現時点で知られている効果的な磁界遮へい材は金属板であるが、金属板そのままでは軽量化、放熱、成型容易性で課題がある。また、金属板の中でも、数 100Hz 以下の電源周波数では磁性鋼板が有力な遮へい材であるが、1kHz を超えると磁性の効果は失われ、100MHz 程度の高調波には適用できない。

以上述べた課題に対応するため、ここでは近傍界磁界に対して高調波を含めて十分な効果を持ち、放熱などの実用性にも十分配慮した磁界遮へい材、遮へい手法の開発を目的とする。具体的には周期穴あき金属板 (Periodically Perforated Metal Plate, 以下 PPMP と略称) を用い、以下の項目に主に着目して検討した。

(1)PPMP による電磁波透過は、マイクロ波帯の高周波では小ホール理論による取扱いが成されている。本課題である低周波 (数 kHz ~100MHz 程度) においても小ホール理論が成立するかどうかの検討を行う。

(2)PPMP による近傍界磁界の透過、遮へいなどの特性の求め方を確立する。

(3)近傍界磁界に効果的な穴の設け方について検討する。

### 3. 研究の方法

PPMP の電波特性について、高周波であるマイクロ波帯の理論的扱い方、透過特性などは知られているので、これを元にして低周波帯でも小ホール理論が適用できるかどうか

の検討を行った。実験では、磁界発生源 (電流ループ) を有する筐体モデル (図 1) を試作し、その上側面を PPMP を取り付ける構造にした。図 2 に PPMP の例を示す。



図 1 筐体モデル

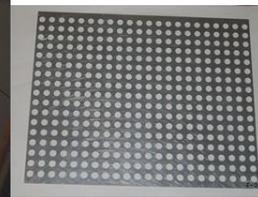


図 2 PPMP の例

PPMP の磁界遮へい効果を評価するため、図 3 に示すように PPMP 板上の平面で漏洩磁界の分布を計測する装置を構成した。図 1 の磁界発生源内には電流ループを設置し、この電流ループにパルス電流を流して楕状パルス磁界を発生させ、ピックアップコイルで受信した漏洩磁界をスペクトラムアナライザで計測した。このシステムの構成を図 4 に示す。



図 3 PPMP 近傍の磁界分布計測装置



図 4 近傍磁界遮へい量評価システム

研究は、以下の 3 段階に分けて行った。

(1)高周波と同様に、PPMP の穴部分に磁気ダイポールを仮定する方法 (Bathe の小ホール理論) で扱い、結果を図 1 の装置による実験と比較する。

(2)PPMP による磁界漏洩を数値的に求め、PPMP の遮へい効果を図 1 の装置による実験と比較する。

(3)金属板に単に周期的に穴を設けるのではなく、磁界漏えいが少なくなる穴のあけ方の

検討を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 近傍磁界と小ホール理論

PPMPの電波特性について、穴部分に磁気ダイポールを仮定する所謂「小ホール理論」について、磁界発生源近傍の磁界を入射波とする場合も成立するかどうかの検討を行った。小ホール理論は図5に示すように金属板上の穴部分の磁界、電流分布のゆがみを、穴と同寸法(厚みは無限小)の磁性膜があると解析し、穴からの放射波はこの磁性膜に誘起される磁気ダイポールからの放射として求める手法である。

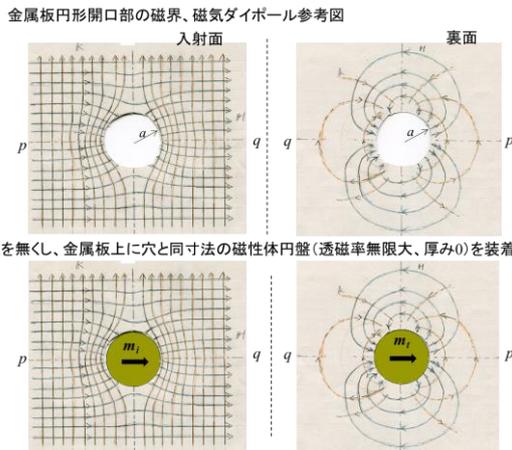


図5 小ホール理論の説明図

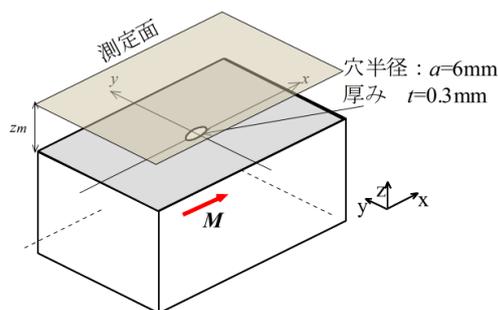
入射側面、透過側面の磁気ダイポール  $m_i$ ,  $m_t$  は、

$$m_i = \frac{4}{3} \mu_0 a^3 H_0 \quad (1)$$

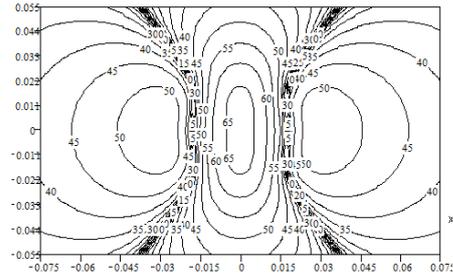
$$m_t = -\frac{4}{3} \mu_0 a^3 H_0 e^{-1.841t/a} = -m_i \cdot e^{-1.841t/a} \quad (2)$$

で与えられる。ただし、 $H_0$ は穴位置の磁界であり、入射磁界、反射磁界の和である。

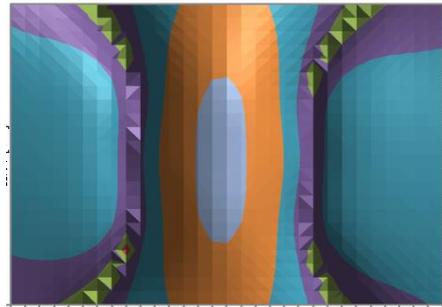
周期穴の特別な場合として、図6(a)に示すように板中央部に円形穴を一つ設けた場合について、漏洩磁界の計算値と測定値を比較した。板厚みは0.3mm、穴半径は6mm、周波数は9.6MHzである。金属板から10mm離れた面上の磁界  $H_x$  の計算値を同図(b)に示す。また、測定値を同図(c)に示す。



(a) 中央に円形穴を一つ設けた金属板



(b) 漏洩磁界分布(計算値)



(c) 漏洩磁界分布測定値

図6 一つ穴の場合の漏洩磁界

穴からの漏洩磁界分布の計算値と測定値は良く合っており、中央部(穴の直上部)で最も磁界が強くなっている。図には  $H_x$  のみ示したが、 $H_y$  も同様に計算と測定が良く合うこと、さらに、円形穴を中心ではない場所に設けた場合にも、両者は良く合うという結果になった。これらのことより、小ホール理論は、金属板が磁界発生源の近傍界にある場合に於いても成立することが実験で確認されたと結論した。

##### (2) PPMPによる放射

PPMPの各穴には磁気ダイポールが発生するので、PPMPは磁気ダイポール列と考えるべく、外側への放射は図7に示すようにこの磁気ダイポール列による放射として与えられる。各穴の磁気ダイポールは(2)式で与えられるので、結局、各穴に入射する磁界が分かれば磁気ダイポールが決定できる。

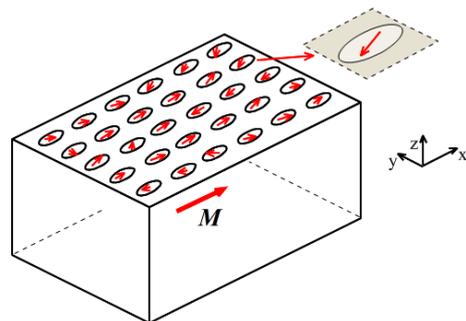


図7 PPMPに発生する磁気ダイポール列

電子機器筐体内には一般に電磁波発生源

が複数あり、金属板位置の磁界分布は相当に複雑である。これを模擬するため、図1に示す磁界発生装置内に二つの電流ループを設け、その相対位置を変えることでPPMPに入射する磁界に変化を与えた。PPMPは穴の大きさや配列間隔を変えて数種類を試作した。PPMPと磁界発生磁気ダイポールの組み合わせのうち、幾つかの例を以下に述べる。

### ①検討1

図8に示すように、磁界発生ダイポールを筐体内に2つ設置し、PPMPは $a=3\text{mm}$ 、 $\Delta=10\text{mm}$ 、 $t=0.3\text{mm}$ とした。PPMPより上部 $z_m$ の $xy$ 面を測定面とした。

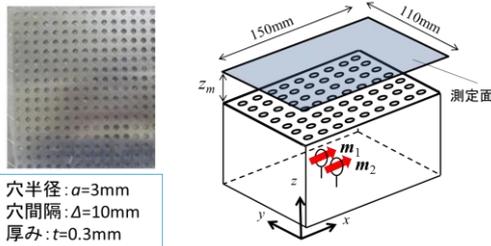


図8 検討1の説明図

図9は $z_m=5\text{mm}$ の場合であり、(a)は計算値、(b)は測定値である。穴と磁界を求める位置が近いので、計算に於いても測定に於いても、穴直上位置での磁界が強い分布になっている。計算と測定の分布は良く合っている。

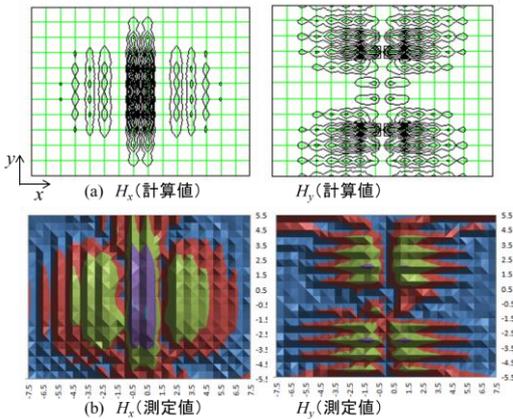


図9  $z_m=5\text{mm}$ の場合の測定値、計算値

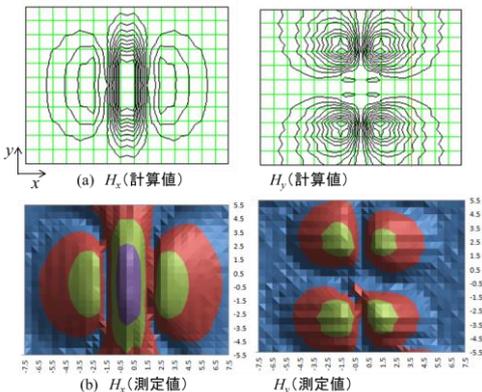


図10  $z_m=10\text{mm}$ の場合の測定値、計算値

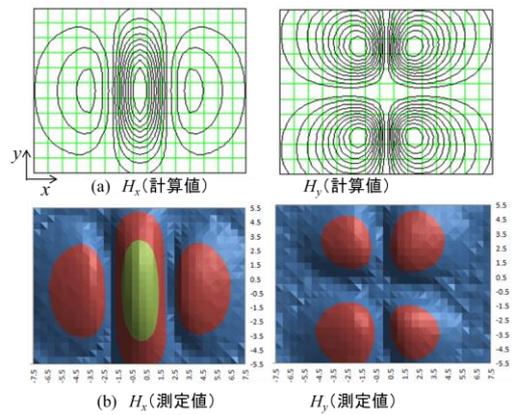


図11  $z_m=20\text{mm}$ の場合の測定値、計算値

図10は $z_m=10\text{mm}$ の場合であり、(a)は計算値、(b)は測定値である。穴と磁界を求める位置は穴配置間隔と等しく、分布は $z_m=5\text{mm}$ に比べて多少滑らかである。計算と測定の分布は良く合っている。

図11は $z_m=20\text{mm}$ の場合であり、(a)は計算値、(b)は測定値である。穴と磁界を求める位置は穴配置間隔より長く、分布は滑らかである。計算と測定の分布は良く合っている。

図9-図11に示した磁界分布より、以下の2つの結論を得た。

1. ここで用いたPPMPは、これが無いときの磁界分布と比較すると、26dB~29dBの磁界遮へい効果がある。
2. PPMPより放射する磁界の分布は、PPMPより穴間隔と同程度に離れると図10、図11のようになり、これはPPMPに入射する磁界の分布に相当する。

PPMPに入射する磁界とは、PPMPが無い状態での $z_m=0\text{mm}$ の磁界分布である。この位置の磁界分布を図12に示す。図10、図11の分布は図12よく似た分布になる。

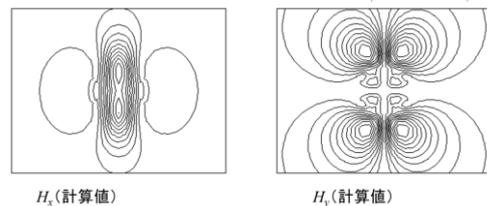


図12 PPMP位置の磁界(計算値)

### (3) 磁界漏洩を抑制する穴の設け方

PPMPを通過する磁界は、各穴に誘起される磁気ダイポールからの放射と考えられ、各穴に誘導される磁気ダイポールは、穴位置に入射する磁界によって誘起される。このことより、放熱用の穴はPPMPのように単純に周期配列とするのではなく、入射磁界の強い部分、弱い部分に応じて穴大きさ、穴密度を変えれば、穴面積が同じでも漏洩を制御できることが予想される。

図13左図は図8と同じ磁界発生源の場合で、金属面位置の磁界の絶対値の分布である。これより、中央部で磁界が強く、周辺部は弱

いことが示される。これに対し、右側にある大きさの異なる円形穴を金属板に配置する。

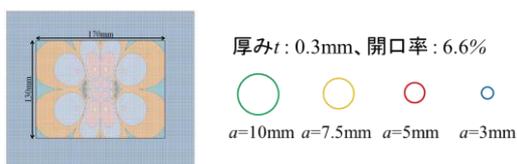


図 13 磁界絶対値の分布と穴大きさ

金属板 A は穴を主に磁界の強い部分に設け、一方金属板 B は磁界の弱い部分に設けたものである。ただし、どちらも穴面積は全体の 6.6%で同一である。

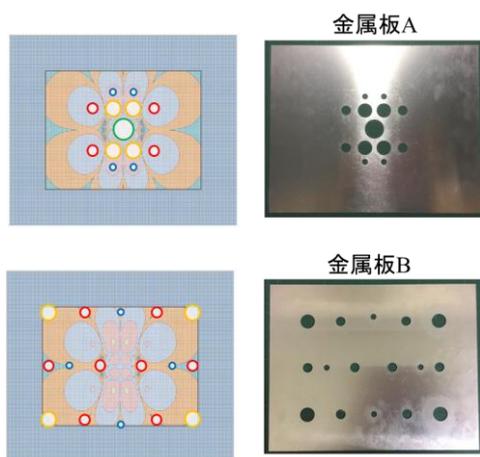


図 14 2種類の穴の設け方

図 15 は金属板 A, B を用いて、 $z_m=10\text{mm}$  の  $xy$  面で測定した漏洩磁界である。金属板 A では漏洩磁界が大きいが、一方、金属板 B ではこの装置では殆どノイズフロア以下になるほど漏洩は小さいという結果になった。両者はおよそ 30dB 以上の差があり、磁界分布を考慮して穴を設けることの有用性が示された。

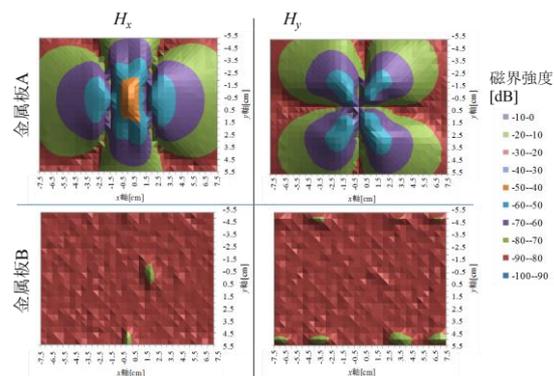


図 15 金属板 A,B の漏洩磁界

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

①皇山賢二, 葛岡孝則, 人工材料を用いる電波吸収体・電磁遮へい材, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J100-B, No.3, pp.127-137, 2016. 査読有, DOI なし。

〔学会発表〕(計 4 件)

①皇山賢二, 人工材料を用いる電磁波反射/透過制御材設計例と課題, 電子情報通信学会環境電磁工学研究会, EMCJ2016-59, pp.53-56, 2016年9月16日, 兵庫県立大学(兵庫県姫路市書写)。

②藤井渉, 山本真一郎, 皇山賢二, 岩井通, 葛岡孝則, ホールアレイ素子を用いる帯域通過フィルタ設計チャート, 環境電磁工学研究会, EMCJ2016-56, pp.35-38, 2016年9月16日, 兵庫県立大学(兵庫県姫路市書写)。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

皇山 賢一 (HATAKEYAMA, Kenichi)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80305680

(2) 研究分担者

( )

研究者番号

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者