

## ナノクリスタル積層アンテナの分割効果

日大生産工(院) ○石井 景登 日大生産工 矢澤 翔大 工藤 祐輔  
東静工業(株) 佐久間 穂崇 渡邊 洋

### 1. まえがき

電波時計は時刻を合わせるという煩わしい操作が不要という点から、スマートフォンが普及している現在でも様々な場所で使用されており、今後も一定の需要が見込まれている。電波時計は、内蔵されているアンテナにより送信所から送信される日本の標準時刻電波を受信し、時刻やカレンダー等を自動修正する機能を持つ時計のことである。また、日本には東日本と西日本で電波を送信する発信局が2つあり、その局から送信される電波の標準周波数は40、60 kHzを使用している<sup>1)</sup>。

従来用いられるアンテナ材料としては、フェライト材料が主流である。ところで軟磁性材料においてフェライト材料よりも磁気特性が優れるナノクリスタル材料があり<sup>2)</sup>、飽和磁束密度や透磁率に優れていることから、チョークコイルやモータ固定子への応用が進んでいる<sup>3)</sup>。しかし、アンテナ材料への適用に関する報告は乏しく、その有用性を検証する意義は大きい。過去にこのナノクリスタル材料を積層したアンテナにおいても、フェライトアンテナと同様に電波を受信でき、電波時計が正常に動作することを確認した<sup>4)</sup>。積層型アンテナとは、磁性材料薄帯を複数枚積層して構成された磁性体コアであり、アンテナの薄型化が期待できる。

一方、ナノクリスタル材料は金属薄帯であるため渦電流損失が発生し<sup>2)</sup>、アンテナの受信感度を示す品質係数  $Q$  のさらなる向上が課題である。本研究では、ナノクリスタル薄帯を積層したアンテナを作製し、薄帯間に絶縁体を挿入して分割積層することで渦電流損失を抑制し、品質係数  $Q$  の向上を図った。

### 2. 実験方法

材料には厚さ  $16\ \mu\text{m}$ 、幅  $5\ \text{mm}$  の Fe-Si-B-Nb-Cu 系ナノクリスタル薄帯を用い、長さ  $50\ \text{mm}$  に切断したものを絶縁体(厚さ  $25\ \mu\text{m}$ )で  $N$  分割( $N=0-120$ )し積層した。Fig.1に分割積層したアンテナの積層パターンの簡略図を示す。ナノクリスタル薄帯120枚を積層し、絶縁体無挿入のときを0分割(絶縁体無挿入構造)とし、ナノクリスタル薄帯を間に絶縁体を1枚挿入し

たときを2分割、ナノクリスタル薄帯と絶縁体の比率を2:1になるように挿入したときを60分割、ナノクリスタル薄帯と絶縁体の比率が1:1になるように挿入したときを120分割と定義した。積層体は樹脂ケース(内寸幅  $5.9\ \text{mm}$ 、長さ  $51.6\ \text{mm}$ 、厚さ  $7\ \text{mm}$ )に収納した。コイルには線径  $\phi 0.23\ \text{mm}$  の銅線を用い、長さ  $30\ \text{mm}$  のボビンに300ターン巻線した。インピーダンスアナライザ(HIOKI, IM3570)を用い、標準電波の搬送周波数  $40\ \text{kHz}$  において、 $1.00\ \text{V}$  駆動時の直列等価インダクタンス  $L$  と抵抗  $R$  を測定した。また、測定する際にフォースゲージを用いて加重を  $5\ \text{N}$  かけた状態で測定を行った。加重をかける理由については、ナノクリスタル薄帯と絶縁体の表面が均一ではなく、粗さがあるため、積層枚数を増やすと空気層が大きくなるため、空気層をできる限りなくし、条件を統一させるために測定の際、 $5\ \text{N}$  の加重をかけた。

品質係数  $Q$  は(1)式より算出した。 $L$  はインダクタンス( $\text{H}$ )で  $R$  は抵抗( $\Omega$ )である。品質係数  $Q$  とは、コイルの品質を表すパラメータであり、Quality Factor (品質係数) の略である。周波数  $f$  は  $40$  であるため、同じインダクタンス値であれば品質係数  $Q$  が高いほど損失が少なく、優れた受信性(感度)をもっていることになる。

$$Q = \frac{2\pi f L}{R} \quad (1)$$

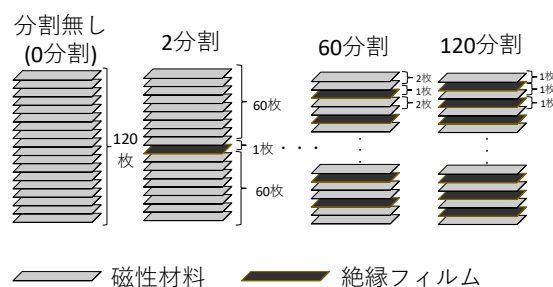


Fig.1 分割積層したアンテナの積層パターンの簡略図

### 3. 実験結果

Fig.2に分割積層したアンテナの品質係数  $Q$  の分割数依存性を示す。縦軸は品質係数  $Q$ 、横軸は分割数  $N$  である。また、点線は0分割(絶縁体無挿入構造)を示している。Fig.2より、 $N$  の

増加に伴い品質係数 $Q$ は増加する傾向を示すことが分かった。

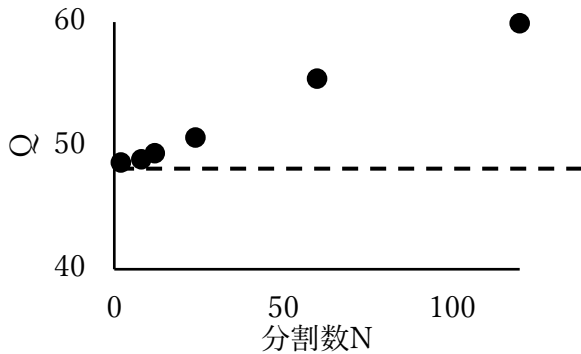


Fig.2 分割積層したアンテナ品質係数 $Q$ の分割数依存性

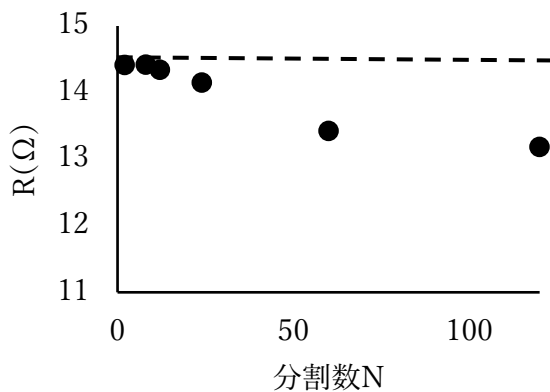


Fig.3 分割積層したアンテナの抵抗 $R$ の分割数依存性

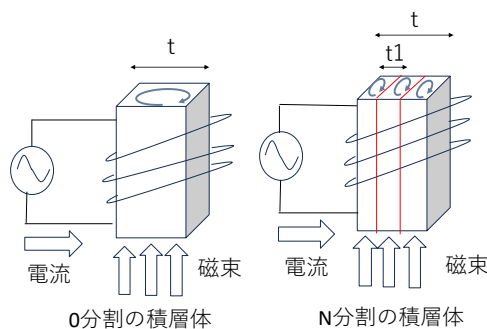


Fig.4 0分割の積層体と $N$ 分割の積層体の模式図

Fig.3 に分割積層したアンテナの抵抗 $R$ の分割数依存性を示す。縦軸は抵抗 $R(\Omega)$ 、横軸は分割数 $N$ である。また、点線は0分割を示している。Fig.3 より、 $N$ の増加に伴い抵抗 $R$ は減少する傾向を示すことが分かった。このことについて、 $R$ 成分の1要素として、渦電流損失が起因していると考えた。Fig.4 に0分割の積層体と $N$ 分割の積層体の模式図を示す。渦電

流損失は(2)式で表される。

$$Pe = V \times \left( \frac{\pi^2}{6\rho} \right) \times B^2 \times f^2 \times t^2 \quad (W) \quad (2)$$

$V$ は体積( $m^3$ )で、 $\rho$ は抵抗率( $\Omega \cdot m$ )、 $B$ は磁束密度( $Wb/m^2$ )、 $f$ は周波数(Hz)、 $t$ は厚さ(m)である。0分割のときの厚みを $t$ 、 $N$ 分割したときの絶縁体1枚間の厚みを $t_1$ とすると、 $\rho$ 、 $B$ 、 $f$ は0分割と $N$ 分割で変わらないため、 $t$ に着目すると

$$t_1 = \frac{1}{N} t$$

$$t_1^2 = \frac{1}{N^2} t^2$$

$N$ 分割なので、

$$t_1^2 = \frac{1}{N^2} t^2 \times N = \frac{1}{N} t^2$$

となり、 $N$ 分割の $Pe$ は0分割と比較して $\frac{1}{N}$ 小さくなること分かる。この数式通り、渦電流損失が小さくなるわけではないが、絶縁体によって薄帯間の電気絶縁性が高まり、渦電流が抑制された結果、 $R$ が減少したためであるものと考えられる。抵抗 $R$ が減少したことで品質係数 $Q$ が増加したと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、Fe-Si-B-Nb-Cu系ナノクリスタル薄帯120枚を積層したアンテナにおいて、薄帯間に絶縁体を分割挿入することで品質係数 $Q$ の向上を図った。分割数 $N$ を0-120に変化させた結果、 $N$ の増加に伴い $Q$ が約25%向上し、絶縁体無挿入構造と比較して特性改善が明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 川合茂一, 電波時計(長波受信)用フレキシブルアンテナの開発, 日本時計学会誌, vol.48, No.4 (2004) pp.28-47
- 2) 吉沢克仁, 山内清隆 Fe<sub>73.5</sub>Cu<sub>1</sub>Nb<sub>3</sub>Si<sub>13.5</sub>B<sub>9</sub>合金の磁気特性の熱処理による変化, 日本金属学会誌 vol.55, No.5 (1991) pp.588-595
- 3) 西川 幸男, 小島 徹, 瀬川 彰継, 谷本 憲司, 小川 登史, 金城 賢治 超低鉄損軟磁性材を用いた高効率モータ パナソニック技法 vol.62 (2016) pp.43-48
- 4) 佐久間穂崇, 守屋陸, 矢澤翔大, 新妻清純, 渡邊洋 ナノクリスタル材料を用いた電波受信アンテナの開発 電子情報通信学会ソサエティ大会 (2022)