アモルファス電波アンテナに関する研究

井浦　博男* 浅間　正剛* 片原　義浩* 浜谷　剛* 山田　義樹*
渡邉　健次郎** 伊関　陽一郎** 石井　啓貴**

A Study on Amorphous Anntena of Radio Wave for Frequency and Time Standard

IURA Hiroo*, ASAMA Masatake*, KATAHARA Yoshihiro*, HAMAYA Takeshi*, YAMADA Yoshiki*,
WATANABE Kenjirou**, ISEKI Yoichiro** and ISHII Hirotaka**

抄　　録

日本標準時が重畳された標準電波を受信し、時刻を自動的に修正する腕時計内蔵型の標準電波受信アンテナに関する開発を行った。従来、標準電波受信アンテナに用いられているアンテナコア材料であるフェライトは、機械的強度が低く、透磁率の周波数特性が不安定である等の問題があることから、アモルファス材料の活用を検討し試作アンテナを作製した。アモルファス材料の磁気特性および熱処理による特性向上について検証した。

また、アモルファス薄帯を積層したアンテナを構成する上での条件を確認した。さらに、電磁界解析ソフトを活用し、アンテナ特性のシミュレーションを行うとともに、コア形状による特性の変化について確認した。

1. 緒　　言

「日本標準時」を載せた標準電波(JJY)を受信し、時刻修正を行い、常に正確な時刻を刻む電波時計が普及し始めている。標準電波受信アンテナ小型化の進展に伴い、腕時計内蔵型も製品化されるようになった。

新デンシ(株)と工業技術総合研究所は、平成12・13年度の共同研究事業「標準電波受信アンテナに関する研究」において、フェライト素材のドラム型コアを用いた標準電波受信アンテナを開発した。

腕時計の高付加価値化の流れの中で腕時計の薄型化が進展し、内蔵される受信アンテナの更なる小型化が望まれると共に、腕時計に対する購買意欲を訴求する観点から、耐衝撃性と耐環境性能の向上が要求されるようになった。

フェライト材は、低コストで加工性に優れた磁性材料であるが、耐衝撃性能や耐環境性能の観点から問題があり、アンテナの特性向上を図るためアモルファス金属材料が注目されている。そこで本研究では、アモルファスをコア材料として活用した電波アンテナの開発を行った。

*　新デンシ株式会社　新潟工場
** 研究開発センター

2. 標準電波と電波時計

標準電波は、時間と周波数の標準ならびに協定世界時(UTC)に基づく日本標準時(JST)を広く国の内外に供給するために、(独)情報通信研究機構で運用されている電波である(表 1)。送信される電波は電離層の影響などで精度が低下するため電離層の影響を受けにくい長波帯を利用しており、時刻に関する情報としてタイムコードを送信している。電波時計とは、この標準電波を受信して、時刻およびカレンダーを自動修正する時計である。

表 1　標準電波の諸元

	JJY(標準周波数局)	
送信局	おおたかどや山 標準電波送信所 (福島局)	はがね山 標準電波送信所 (九州局)
空中線電力	50kW (実効輻射電力 10kW)	
搬送周波数	40 kHz	60 kHz
アンテナ	傘型 250m高	傘型 200m高
備 考	1999(平成 11 年) 6.10 開局	2001(平成 13 年)10.1 開局

3. 標準電波受信アンテナのコア材の特性

3.1 アモルファスの物性

「アモルファス」とは、構造的には結晶のように原子配列が周期構造を持つのではなく、短距離秩序はあるが、長距離秩序がない固体のことである。アモルファス合金は結晶磁気異方性を持たない均質等方な構造を持っているため、磁化されやすい物質、つまり高透磁率の磁性材料を得ることができる。

3.2　アモルファスの熱処理と磁気特性

アモルファス合金は、必ずしも理想的に均質等方的な磁気状態にはない。このような磁気的異方性もしくは不均質性は、アモルファス状態を破壊しない程度に熱処理を施すことによって緩和することができ、軟磁性を向上させることができる。

また、アモルファス合金箔からアンテナのコア形状を形成するために、プレスによる打ち抜きを行うが、その結果アモルファス合金に内部応力が生じる。熱処理は、アモルファス構造を緩和し、内部応力を取り去ることができるので、機械的切断による磁歪から生じている磁気異方性を除去でき、軟磁性が増し透磁率の向上につながる。

3.3　熱処理条件の検討

3.3.1　温度および保持時間

目標とするのは、透磁率をできるだけ大きくし、かつコア損失を小さくすることである。無処理の試料の測定値を 1.0 として、各種処理後の値を比較した。

なお、熱処理の雰囲気としては、いずれの場合も高純度窒素気流中で行った。

図 1 は、10℃毎分で 200～500℃まで昇温しそれぞれの温度で 30 分保持した後炉冷した試料についての透磁率（μ）とコア損失（Pc）を示したものである。同様に図 2 および図 3 は、保持時間を変化させた場合の透磁率とコア損失の変化を示したものである。結果、一定温度での保持・炉冷処理では理想とする特性を得ることは困難であった。

3.3.2　加熱・冷却速度の効果

単純な定速昇温炉冷の条件では所望の特性が得られがたいと考えられたため、窒素雰囲気を保ったまま加熱炉内で試料を移動できるようにし、試料を加熱帯から常温の炉端部へ移動させ、急速に冷却あるいはその逆に急加熱する方法を試みた。温度推移について図 4 に、測定結果を表 2 に示す。結果は前項と同様に、適当な条件は得られなかった。

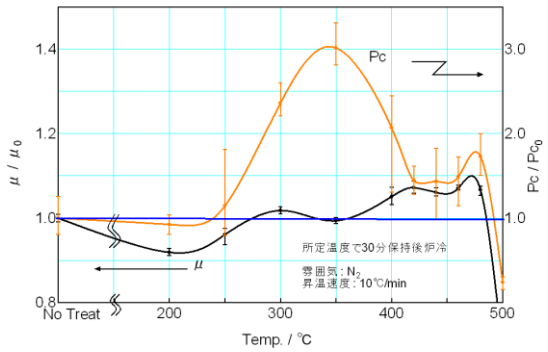

図 1　処理温度と磁気的特性の関係

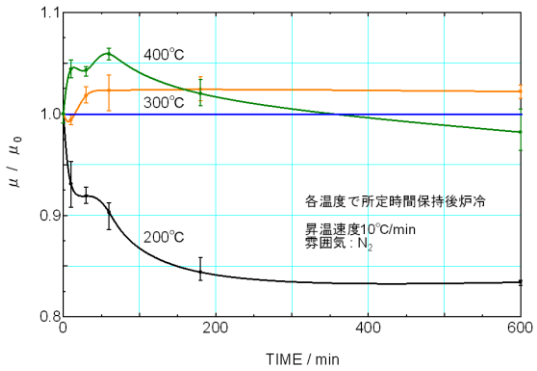

図 2　保持時間と透磁率の関係

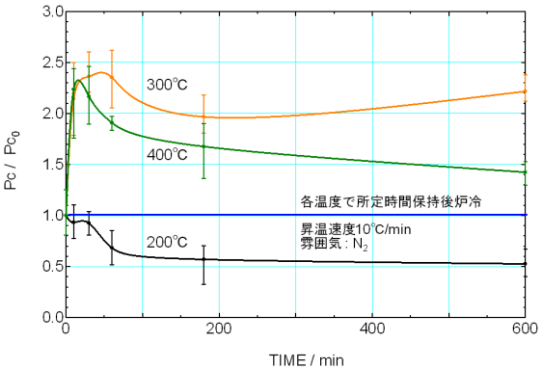

図 3　保持時間とコア損失の関係

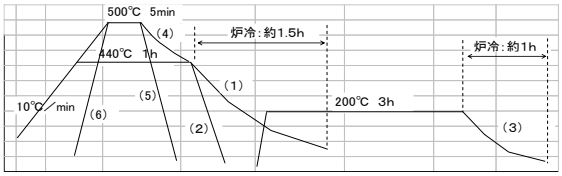

図４　急熱急冷の処理の温度推移

表２　加熱・冷却速度による特性の違い

４４０℃１時間保持後		透磁率μ	コア損失Pc
（１）	炉冷	1.02	1.16
（２）	空冷	1.05	1.79
（３）	急冷後２００℃で３時間保持炉冷	1.02	1.25
５００℃５分間保持後			
（４）	炉冷	1.03	2.07
（５）	空冷	1.03	1.58
（６）	急熱・空冷	1.05	1.97

４．アモルファスコア材を用いた標準電波受信アンテナのアンテナ構造について

4.1　積層枚数によるアンテナ特性変化

標準電波受信アンテナにおけるコアは、アモルファス薄帯を積層することにより形成する。そこで、アモルファス薄帯の積層枚数とアンテナ特性の関係について、アモルファスの処理条件、巻き線条件を同一にし、アモルファス箔の枚数を変化させたときのインダクタンス値(L 値)および Q 値の変化を調べた。その測定結果を図５に示す。

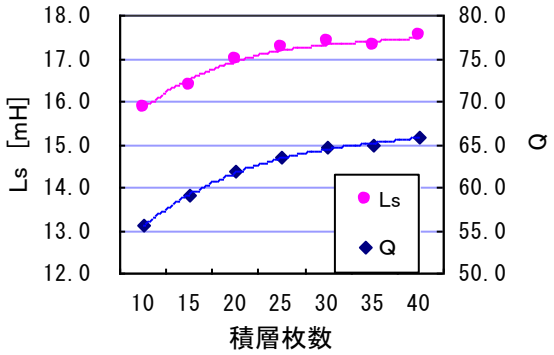

図５　アモルファス積層枚数-アンテナ特性

実験の結果、インダクタンス値および Q 値はアモルファス積層枚数に比例して上昇するのではなく、上昇率は低下し緩やかに飽和していくことが確認された。表皮効果により磁束は磁性体の表面に集中する。コア内部の磁束がコア断面に均一に分布するのではなく、表面に集中するため枚数を増加させてもコア断面積に比例したインダクタンス値の上昇が望めないためと考えられる。

4.2　積層処理について

アモルファスなどの磁性体コアを用いたオーディオ用磁気ヘッドでは、ラミネートと呼ばれる積層、接着加工処理を施すことがある。磁性材を精密加工により積層コアにすることにより、硬度を高め、固有抵抗を上げて高周波損失の少ないコアにできることが期待されるためである。標準電波受信アンテナにおいてこの積層処理を施すことが有効か否かを、実際に簡易的なアンテナを試作し、アンテナ特性を比較することにより検証した。コア条件および巻線条件を同一にし、積層処理の有無によるアンテナ性能の差について調べた（表 3）。その結果、積層処理を施していないアンテナの方が高いインダクタンス値を示した。アモルファスを含めた磁性材料には、逆磁歪効果が知られており、積層処理によりアモルファス箔に応力が掛かり、逆磁歪効果によりアモルファス内部の磁化が変化し L 値の低下が生じたものと考えられる。

表３　積層処理による効果

	積層有り	積層無し
枚数	30	
巻数	1170	
線径[mm]	0.08	
Ls　[mH]	17.65	19.06

4.3　アモルファス層間絶縁の効果

アモルファス箔の層間で絶縁を取るため、絶縁紙を挿入し、Q 値の向上効果を調べた（表 4）。巻き線等同一条件で作成した層間絶縁が取られていないアンテナに比べ、Q 値が約４上昇した。コア損失のうち、層間絶縁に

よりうず電流損失が低減され、その結果 Q 値が向上したものと思われる。層間絶縁を取った積層状態におけるコア損失の値の検証およびコア損失とコイルの Q 値の関係に関する検証が今後の課題である。

表 4　層間絶縁による効果

	絶縁無し	絶縁有り
枚数	30	
巻数	1170	
線径[mm]	0.08	
Q	64.69	68.99

5. 電磁界シミュレーション

5.1　概要

アモルファスコアを用いた標準電波受信アンテナにおいて、コア形状を検討するため、受波部形状を変化させたときのインダクタンス値について、有限要素法により解析した。

5.2　解析条件

解析モデルの設定は以下のとおりである。

・計算方法

$$\Phi = L*I$$

の関係式より求める。

ここで、Φ:磁束、L:インダクタンス、I:印加電流である。

・コア材（等方性、線形特性と仮定）

解析に必要な、μ'（比透磁率実部）、μ''（同 虚部）および σ（電気伝導率）の値は、全て使用材料の実測値を使用

・形状

図 6 のような単純 H 形状とし、受波部の長さをアンテナ長さ（コアの長手方向長さ）の 4.5%から 8.0%まで変化させた寸法で解析した。

※アンテナ長さ、巻き線部を含めたアンテナ幅、コアの厚さおよび巻き線部の電流方向に鎖交する断面積(つまり巻き線可能面積)を固定し、受波部(ツバ)の大きさとコア中央部の幅について設定した。この拘束条件により、受波部の大きさとコア中央部幅はトレードオフの関係となる。

・コア　アモルファス 30 枚に相当する厚さとする。

・解析周波数　　40 kHz

・巻き線数　　1170　turn

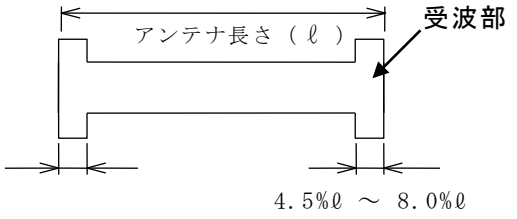

図 6　コア形状

5.3　解析結果

結果を図 7 に示す。インダクタンス値は受波部長さ（つまり受波部面積）の増大に伴い増加していくが、比例的ではなく緩やかに飽和していくことが分かった。

また、変化させた範囲内ではインダクタンス値の極値は見られないことが分かった。

なお、解析に用いた拘束条件では、前述のように受波部を長くするに従いコア中央部の幅は細くなり、強度的にアンテナを形成できなくなることが予想されるため、受波部面積の増加には限界がある。

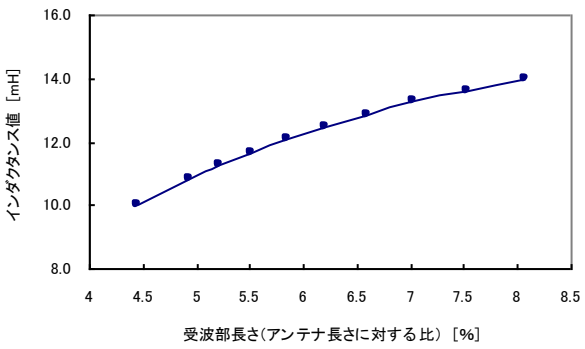

図 7　コア形状とアンテナ特性

6. 試作アンテナ

これらの結果をもとに、アモルファス合金コアを採用した腕時計内蔵型標準電波受信アンテナを試作した(図 8)。

同品は国内腕時計メーカーにサンプルを出荷し、採用が内定している。

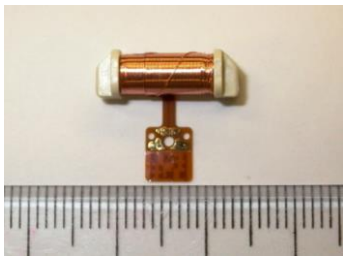

図 8　標準電波受信アンテナ試作品

7. 結　　言

（1）アモルファス薄帯を用いた腕時計内蔵型標準電波受信アンテナを試作した。

（2）種々のアモルファス素材の特性を検討するとともに、アモルファスの熱処理条件による磁気特性の制御について把握し、最適な熱処理条件について検討した。

（3）標準電波受信アンテナを構成する上での、各種パラメータとアンテナ特性の関係について調べた。

（4）電磁界解析ソフトを活用し、アンテナ特性のシミュレーションを行うとともに、コア形状による特性の変化を確認した。