

研究論文

高機能性反毛フェルトシートの開発

杉山儀*1、堀場隆広*2、藤田浩文*3

Development of the High-functional Recycle Felt

Tadashi SUGIYAMA*1, Takahiro HORIBA*2, Hirofumi FUJITA*3

Owari Textile Research Center*1~3

本来別々の機能を備えた自動車内装材の反毛フェルトと金属製パネルを一つに統合した軽量の複合化反毛フェルトシートを開発した。反毛フェルトに軽量の金属シートを用いて、複合化方法を工夫することにより、高周波電磁波から超低周波磁界のシールド性能と従来の反毛フェルト以上の難燃性能と吸音性能の3つの性能を実現した。また開発品は、構造上における2性能、電磁波シールド性能と難燃性能に優位性があることを確認した。

1. はじめに

これまで自動車内装材として用いられてきた反毛フェルトは、吸音、難燃機能を備えたものがほとんどであり、電磁波シールド機能を備えているものはなかった。

現在、ハイブリッド(HV)、電気自動車(EV)が普及する中で、自動車関連企業から、自動車の車内環境において、モータ、インバータ、ワイヤーハーネスなどから漏れる電磁波をシールドすることで電子機器の誤動作、及び各種影響を防止するための複合化反毛フェルトシートの研究開発が求められている。また特に、超低周波域1Hz~数百Hzの磁界成分をシールドすることはハードルの高い技術課題となっており、そのシールド効果測定方法も確立されていない。

そこで本研究は、平成23年度に超低周波磁界シールド効果測定装置を製作し、このシールド効果測定装置を用いて、超低周波を含めた低周波磁界に重点を置いた電磁波シールド性能(20dB以上)を備えた複合化反毛フェルトシートを開発した。吸音、難燃性能については、従来の反毛フェルトと同等以上の性能を付与した。

2. 実験方法

2.1 試料

反毛フェルト(主な素材は毛50%、ポリエステル30%、綿・レーヨン10%、アクリル7%、その他3%、厚さ5mm、500g/m²)やフェルト(綿60%、ポリエステル30%、アクリル10%、厚さ10mm、500g/m²)に貼り合わせるものとして、市販のポリエチレン、紙、アルミ箔、アルミ板、銅板、ステンレス板、鉄板、パーマロイ、トタン、真鍮、ナノ結晶軟磁性材(ファインメット)を用いて、複合化

フェルトシートを作製した。

アルミ箔に孔を空ける条件は、ニードルパンチ機を用いて36番手の針で40本/cm²(以下、NP40と表記)とした。このとき孔径はおおよそ1.0Φである。

2.2 電磁波シールド性能

- ・測定方法: KEC法
 - ・測定機器: 電磁波シールド特性評価装置(KEC法測定治具)、スペクトルアナライザ
 - ・測定周波数: 100kHz~1GHz
 - ・測定原理: 電磁遮蔽効果は電磁波がシールドを透過する際の減衰量で定義される。 $S=20\log(A/B)$
S: 電磁遮蔽効果(dB)、A: 入射波(μV)、B: 透過波(μV)
 - ・目標値: 20dB(減衰率90%)以上
- ※ただし100kHzでは30dBが測定限界となる。

超低周波磁界シールド効果測定装置を用いて、以下の測定方法で、さらに磁性をもつシールド材を選定した。

2.3 超低周波磁界シールド性能

- ・測定機器: 磁界測定器、交流電源装置、オシロスコープ、ソレノイドコイル(径0.5mm、巻き数30、直径4cm、長さ2cm)(図1、2)
- ・測定周波数、電流、電圧: 50~500Hz、1.61A、0.6V
- ・測定原理: 磁界遮蔽効果は磁界がシールドを透過する際の減衰量で定義される。 $S=20\log(A/B)$
S: 磁界遮蔽効果(dB)、A: 入射波(μT)、B: 透過波(μT)
- ・目標値: 20dB(減衰率90%)以上

*1 尾張繊維技術センター 素材開発室(現三河技術センター 産業資材開発室) *2 尾張繊維技術センター 素材開発室
*3 尾張繊維技術センター 素材開発室(現食品工業技術センター 分析加工技術室)

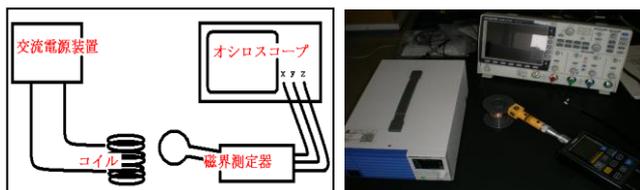


図1 超低周波磁界シールド効果測定装置概念図(左)と実際に製作した磁界シールド効果測定装置(右)

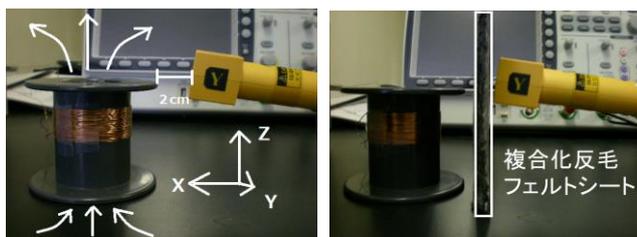


図2 超低周波磁界シールド効果測定装置を用いた評価方法(ブランク評価時(左) 試料評価時(右))

2.4 吸音性能

- ・測定方法: JIS A 1405-2
- ・測定機器: 垂直入射吸音率測定システム
- ・目標値: 従来の反毛フェルトシートの性能以上

2.5 難燃性能

- ・測定方法: JIS D 1201
- ・測定機器: MVSS-3 型燃焼性試験機
- ・基準: 燃焼速度 80mm/min 以下
- ・目標値: 燃焼速度 32mm/min 以下(従来の反毛フェルトシートの燃焼速度)

3. 実験結果及び考察

3.1 超低周波磁界シールド素材選定

50Hz から 500Hz の超低周波磁界におけるシールド素材の選定結果は、図3より強磁性体のパーマロイ(厚さ 0.05mm)、ナノ結晶軟磁性材(ファイネット)(厚さ 0.12mm)を選定した。当初の計画で考えていたトタン(厚さ 0.3mm)、真鍮(0.2、0.3mm)、アルミ板(厚さ 0.2mm、0.3mm)、アルミ板(厚さ 0.2mm、孔径 0.5Φ、0.7Φ、1.2Φ)、アルミパンチング板(厚さ 0.3mm、孔径 3Φ、6Φ)をシールド材として用いて、発生磁界をシールド材内に流すことでシールドするねらいは、期待通りの効果を確認することができなかった。特にアルミは、100kHz 以上の周波数帯ではそれなりの効果があるものの、常磁性であるため超低周波磁界では、シールド効果を確認することができなかった(0dB)。

そこで、選定したパーマロイとナノ結晶軟磁性材を用いて複合化反毛フェルトシートを作製した。

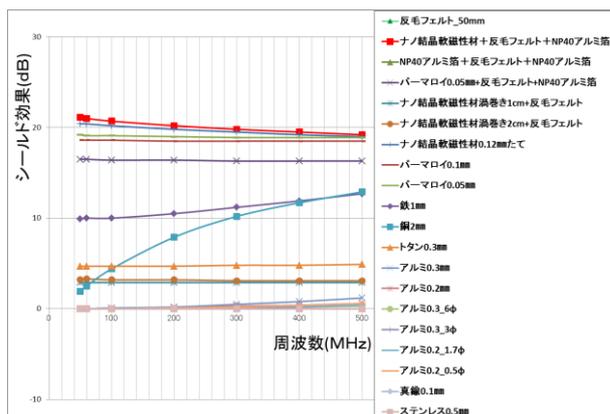


図3 シールド材及び開発品の超低周波磁界シールド性能

3.2 開発品

反毛フェルトにナノ結晶軟磁性材またはパーマロイを複合化することで、当初目標の 300Hz の超低周波磁界を含んだ 50Hz から 1GHz の磁界シールド性能で 20dB 以上を達成した。そして、電磁波シールド性能を付与しながらも、吸音性能と難燃性能は従来の反毛フェルト以上の性能を備えた柔軟で軽量な高機能性複合化反毛フェルトシートを開発した(図4)。なお開発品は、一般的に使用されている鉄板のシールド材に比べて、10分の1の重量である。

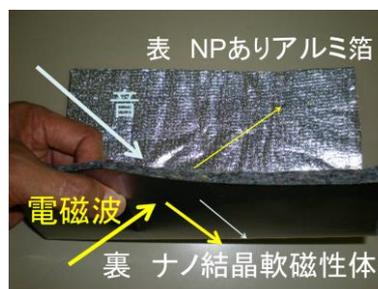


図4 開発品

開発品は以下の低周波磁界シールド性能、吸音性能、難燃性能を備えている。

3.3 開発品の 300Hz の磁界シールド性能

300Hz の低周波磁界のブランク評価(図2左)において、磁束密度 15.8μT に対して、開発品を図2右のように設置すると 1.4μT まで減少する。つまり磁界減衰率が 21dB となり目標値の 20dB 以上を達成したことになる。また、この 1.4μT は、一般家電製品からでる磁束密度まで減衰されたことにもなる。例えば、ヘアドライヤーは 10cm 離れた地点でおよそ 2.9μT である。

図5オシロスコープによりブランク評価時と開発品評価時の磁束密度を可視化したものである。実際、磁界

測定器で測定した磁束密度は、X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれの波の振幅で表わされている。また上記の数値、例えばブランク評価の $15.8 \mu\text{T}$ は各軸の磁束密度合成値 B_R となっており、各軸の磁束密度 $B_X = 14.8 \mu\text{T}$ 、 $B_Y = 2.2 \mu\text{T}$ 、 $B_Z = 5.1 \mu\text{T}$ に対して、磁束密度合成値は $B_R = (B_X^2 + B_Y^2 + B_Z^2)^{1/2}$ で表されている。

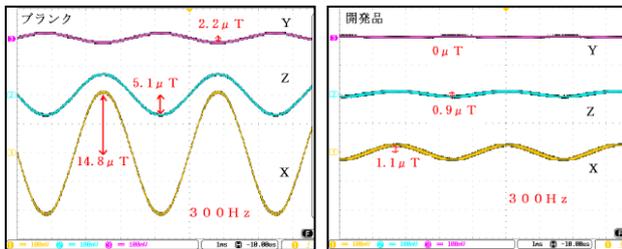


図5 ブランク評価時(左)と開発品評価時(右)の各軸の磁束密度(縦軸:磁束密度の大きさ、横軸:時間)

また 100kHz から 10MHz の低周波磁界を含む磁界についても、KEC 法により測定すると、図6左のとおり、開発品は目標値 20dB 以上の性能を備えている。なお 10MHz から 1GHz までの高周波磁界シールド性能についても高いシールド性能を有していることが確認できる。これは開発品の複合化材料のアルミ箔の導電性とナノ結晶軟磁性材料の磁気特性が高いことによるものと考えられる。

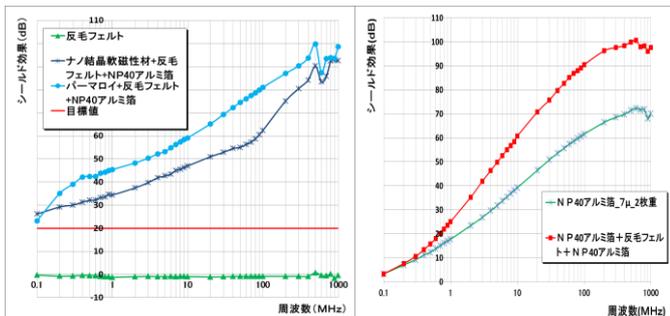


図6 開発品の磁界シールド性能(左)とサンドイッチ構造による磁界シールド効果の差異(右)

3.4 複合化構造と磁界シールド性能

200kHz から 1GHz の磁界で、アルミ箔を単に二枚重ねただけのもの、反毛フェルトをアルミ箔でサンドイッチ状にしたもので、シールド効果に優位差が確認された(図6右)。アルミ箔とアルミ箔の間に空間ができることで電気的作用が働いたものと考えられる。しかし、50Hz から 500Hz の超低周波磁界におけるサンドイッチ構造によるシールド効果は確認できなかった。

3.5 開発品の吸音性能評価

開発品の吸音性能については、図7の孔ありアルミ箔+反毛フェルトをそのまま開発品に当てはめることができる。これは、開発品の表側、つまり音の入射側に孔を空けたアルミ箔を貼り合わせたことで大きく従来品の性能を上回る結果に至った。またこの開発品は、従来の反毛フェルトを2枚重ねたものと同等の吸音率があることも確認した(図7)。

一般的に金属箔を貼り合わせる場合、吸音率を上げるためには、必ず金属箔に孔を開けることが必要となり、また反毛フェルトに対して金属箔を挟む位置と金属箔に空ける孔の大きさで、吸音したい周波数のピークの位置をずらせることも分かってきた。これは、周波数ごとの波長の長さや孔の大きさ、挟む位置との関係によるものと考えられる。

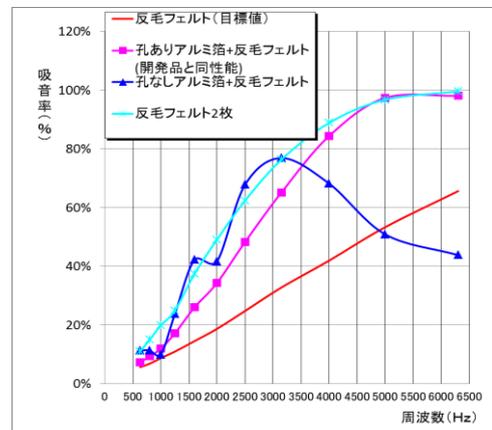


図7 開発品の吸音性能

表1 開発品の難燃性能とサンドイッチ構造による難燃性能の差異

試料	燃焼速度 (mm/min)
反毛フェルト(毛 50%)_5mm	32
紙	336
紙+反毛フェルト+紙	0
ポリエチレンフィルム	738
フィルム+反毛フェルト+フィルム	33
フェルト(綿 60%)_10mm	372
紙+フェルト+紙	87
ナノ結晶軟磁性材_120μ	143
パーマロイ_50μ	0
アルミ箔_7μ	196
アルミ箔+反毛フェルト+アルミ箔	0
ナノ結晶軟磁性材+反毛フェルト+アルミ箔	0
パーマロイ+反毛フェルト+アルミ箔	0

3.6 複合化構造と吸音性能

反毛フェルトの片側だけに孔の空いたシートを貼り合わせた場合も、サンドイッチ状に貼り合わせた場合も、吸音効果における優位差は確認できなかった。

3.7 開発品の難燃性能評価

表 1 に難燃性能の結果を示す。開発品の難燃性能については、表、裏ともに燃焼速度 0mm/min で従来の反毛フェルト以上の性能となり目標を達成した。しかし、開発品に貼り合わせたアルミ箔、ナノ結晶軟磁性材料ともに単体では非常に燃え易く、従来の反毛フェルトの燃焼速度 32mm/min どころか基準値 80mm/min よりも大幅に下回ってしまうが、反毛フェルトを挟み貼り合わせることで燃焼速度 0mm/min となり、不燃につながることを確認した。これは貼り合せによる、熱の移動分散と空気の遮断によるものと考えられる。

3.8 複合化構造と難燃性能

開発品がアルミ箔、ナノ結晶軟磁性材という燃焼性の高いものでありながら、反毛フェルトをサンドイッチ状に貼り合わせることで、不燃効果が確認された。しかし、燃焼性が高いものならばどんなものでもサンドイッチ状に貼り合わせれば不燃となる訳ではなく、貼り合わせるものの燃焼速度の限界があると考えられる。また反毛フェルトの難燃材である毛を除いたものをサンドイッチ状にしたものを測定したところ、燃焼速度は遅くなり、難燃性となるが不燃性を確認することはできなかった。よって難燃性において、サンドイッチ構造の優位性を確認したが、片側だけに貼るものではもちろん確認することはできない。

4. 結び

本研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

本研究では、本来別々の機能を備えた反毛フェルトと金属製パネルを一つにした軽量の複合化反毛フェルトシートを開発した。反毛フェルトを軽量の金属シートでサンドイッチ状に貼り合わせることで、高周波電磁波から超低周波磁界のシールド性能と不燃性能を付与した。また、金属シートに孔を空けることで吸音性能の 3 つの性能を実現した。

開発品として、ナノ結晶軟磁性材またはパーマロイを用いたが柔軟性、重量、コスト面を考慮するとナノ結晶軟磁性材料を用い易い。しかしナノ結晶軟磁性材、パー

マロイ単体での性能を考えた場合、ナノ結晶軟磁性材料は非常に燃えやすかったのに対して、パーマロイは熱に非常に強く、燃焼速度 0mm/min、つまり不燃であった。しかし、この結果から燃焼性が高いものでもサンドイッチ構造にすることで燃えにくくなることが分かり、また電磁波シールド性能についても優位差を確認することができた。現在、このサンドイッチ構造をもつ複合化反毛フェルトシートの貼り合わせるものをニーズに合わせて変えることを検討している。

当初は、高周波側で電磁波を吸収する作用や、不燃効果を見込んで、開発品の反毛フェルトに炭素繊維を混紡することも考えていたが、孔を開けたアルミ箔を貼り合わせた場合、燃焼速度が目標 32mm/min を大幅に下回ってしまうことが確認されたことや、炭素繊維の作業効率の悪さ、導電性による機器短絡の影響を危惧したため使用するには至らなかった。

今後の課題としては、開発品のコスト面が挙げられ、コストを下げる方法としては、シールド材の量を減らすために形状を工夫する（例えば、分割して貼り合わせるなど）が必要になると考えられる。また本研究で製作した超低周波磁界シールド効果測定装置は簡易のものであるため、より精密なものを製作する必要があると考える。

付記

本研究は、「平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業補完研究」¹⁾及び「平成 24 年度研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) フィージビリティスタディ【FS】ステージ探索タイプ (独) 科学技術振興機構」により実施した。

謝辞

最後に、開発品に至るまでに沢山の試料を試作し多大なる協力をしていただきました寺田タカロン(株)の本多氏に感謝致します。

文献

- 1) 堀田好幸, 藤田浩文, 青井昌子, 中田絵梨子, 杉山儀: 平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業成果報告書, 3, 1-50(2010)