

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材
（電波吸収ファブリック）の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成26年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 一般財団法人ファインセラミックスセンター

目次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-1-1 研究開発の背景	1
1-1-2 研究目的及び目標	1
1-1-3 研究開発テーマ	1
1-2 研究体制	3
1-2-1 研究組織及び管理体制	3
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
2-1 自動車電磁ノイズの吸収に適したMG CMCの開発	9
2-2 電波吸収コーティング剤の開発	11
2-3 ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材 (電波吸収ファブリック)の開発	12
2-4 プロジェクトの管理運営	14
2-4-1 進捗管理・物品管理	14
2-4-2 研究開発委員会の開催	14
第3章 全体総括	14
3-1 研究成果総括	14
3-2 研究開発後の課題	15
3-3 事業化展開	15

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

いつでもどこでも必要なときに誰もが情報を活用できるユビキタス情報社会の構築が進展する中で、自動車においてはラジオ、ワンセグ、カーナビゲーションシステム等の情報通信機器（マルチメディア機器）、制御用電子機器が実装され、高度なIT化が進んでいる。このように、自動車が走るマルチメディア空間となってきた一方、今後ますます自動車の制御システムのデータ量の増加、複雑化が進み、より高速でかつ信頼性の高いネットワークが求められるようになってきている。電気自動車やハイブリッド自動車等の次世代自動車の市場が拡大の一途を遂げている現在、自動車の安全運行は、不要な電波を出さない、電磁ノイズを抑制する、かつ電波の反射、輻射、共振等による誤動作を防止するという電磁障害（EMC）対策なくしては達成されない状況にある。

1-1-2 研究目的及び目標

本研究開発では、このような社会的、技術的背景の中、様々な情報通信機器や制御用電子機器が搭載される次世代自動車において、自動車のより安心・安全な運行を確保する新規なEMC対策材を開発することを目的として、磁性体担持カーボンマイクロコイル（MGCMC）を活用して次世代自動車の車両内部で飛び交う電磁波を広帯域に吸収・減衰し、電磁障害を抑制可能な内装材を開発した。具体的には、MGCMCを活用した電波吸収特性を持つ電波吸収コーティング剤を開発し、それを各種生地に織染加工することでハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）を開発することを目標とした。

1-1-3 研究開発テーマ

自動車の車両内部で発生するMHz～GHzの広帯域の電磁ノイズの吸収・減衰に適するハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）の開発および実用化のための技術開発を行うことを目標として、①自動車電磁ノイズの吸収に適したMGCMCの開発、②電波吸収コーティング剤の開発、③ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）の開発を研究課題として研究開発を実施した。

以下、3テーマにおける開発項目を述べる。

①自動車電磁ノイズの吸収に適したMGCMCの開発

カーボンマイクロコイル（CMC）は、導電性の炭素繊維からなるコイルであることから、電磁誘導作用により高効率に電波吸収し、特にGHz帯域の電磁波を吸収する特徴がある。シーエムシー技術開発㈱、名古屋工業大学、ファインセラミックスセンターでは、共同でCMCの表面にスピネルフェライトを担持することにより、さらに広いGHz帯域にわたり一様に電磁波を吸収するMGCMCの開発に成功している。本事業においては、自動車の車両内部で発生するMHz～GHzの広帯域の電磁ノイズの吸収・減衰に適するMGCMCを開発した。MGCMCの作製は、共沈法等により行い、CMCに担持するスピネルフェライトの組成、結晶性、形態、担持量、密着性などを調整、検討した。また、自動車電磁ノイズ用MGCMCの工業的製造技術を開発した。

②電波吸収コーティング剤の開発

MGCMCを環境に配慮したエマルジョン溶液に複合、分散し、各種の自動車内装材へ塗布可能な電波吸収コーティング剤を開発した。㈱西澤とシーエムシー技術開発㈱とは既に無線LANの電波障害対策向けにCMC配合コーティング剤を開発しているが、本研究開発で使用するMGCMCはCMCや従来の顔料に比べ比重が大きいため沈降して粒子同士が凝集しやすく、MGCMCの分散性の維持が困難になることが予想される。これらの課題を解決するため、広範囲なpH領域において水系溶媒でのMGCMCの分散性を安定に維持し、コーティング剤の粘性やチクソ性等の粘弾性を織染加工が可能な範囲に調整するために、各種添加剤を導入した。また、開発した電波吸収コーティング剤を各種シートに塗布し、電波吸収コーティング剤の電磁ノイズ吸収・減衰特性の評価用試料を作製し、評価手法を確立した。

③ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）の開発

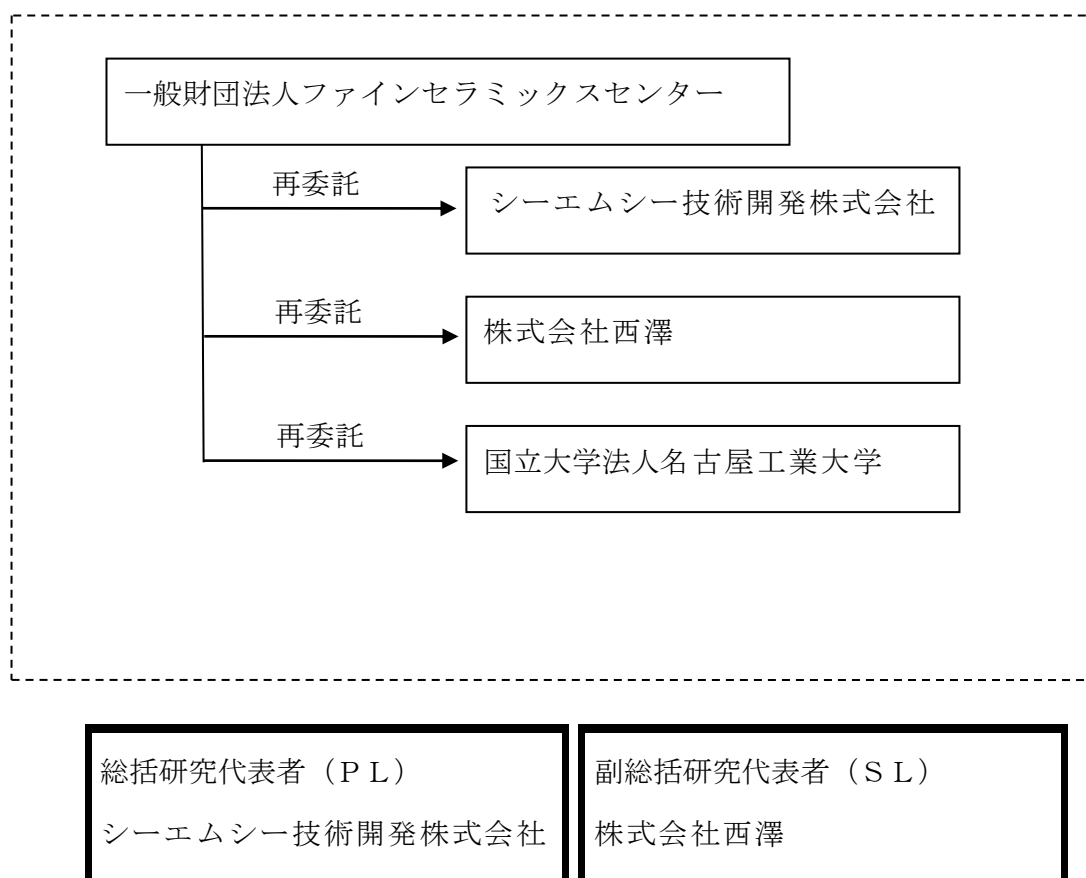
電波吸収ファブリックは、電波吸収コーティング剤をわずか数十 μ m厚に塗布して開発するため、特異な形状、性状のMGCMCを各種生地へ薄く塗布する必要がある。織染加工時の電波吸収コーティング剤の安定化などを検討することにより、コーティング膜の破断、ひび割れ、塗布ムラ等の加工不良が発生しない織染加工技術を開発した。また、コーティング材の組成や膜厚及び織布との組合せた電波吸収ファブリックを実車に搭載した場合を想定した実規模試験（自動車搭載試験）を模擬した広帯域電磁界解析装置による電磁界シミュ

レーションを実施して、電波吸収ファブリックの基本的な仕様を決定した。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

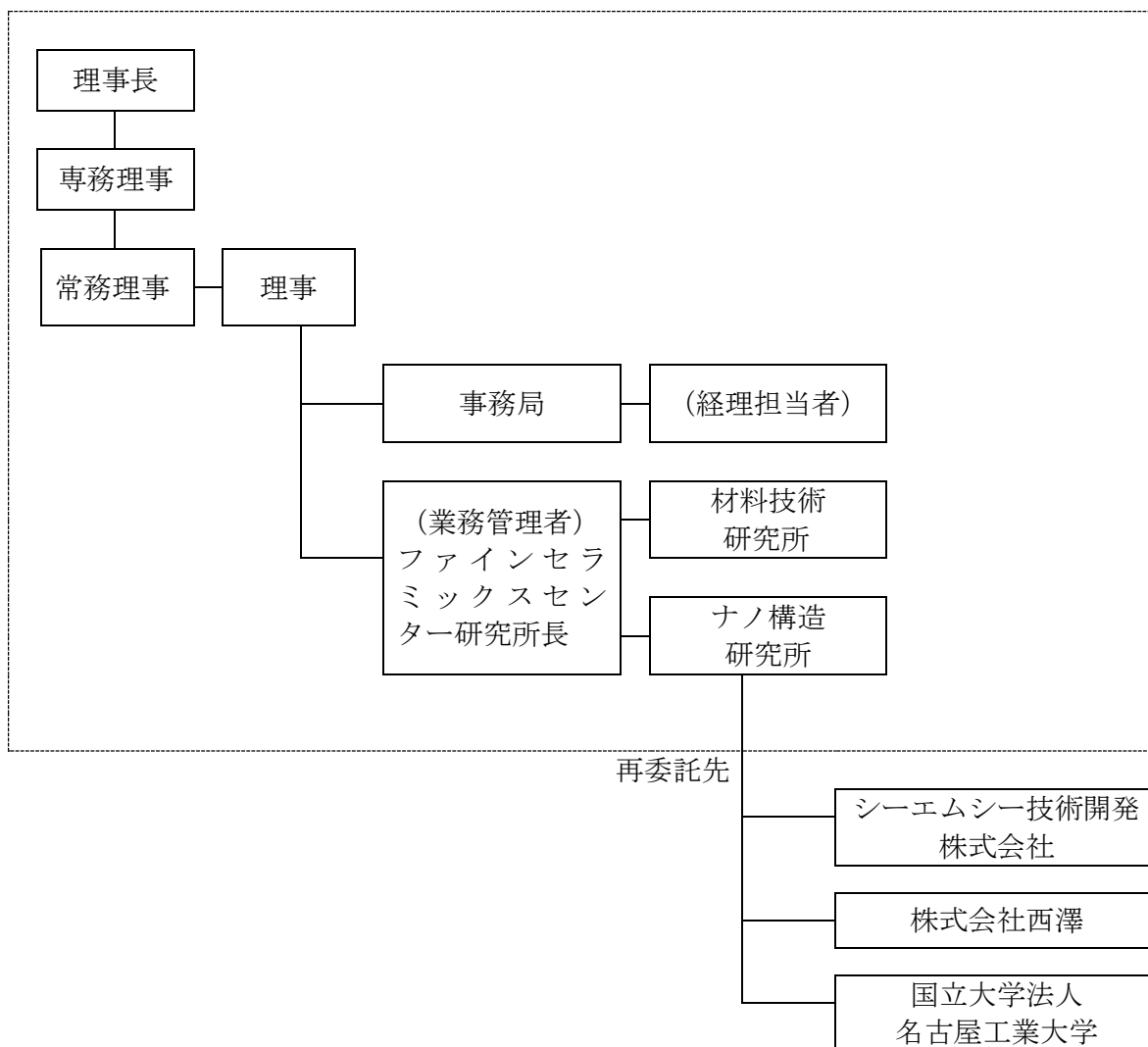
(1) 研究組織



(2) 管理体制

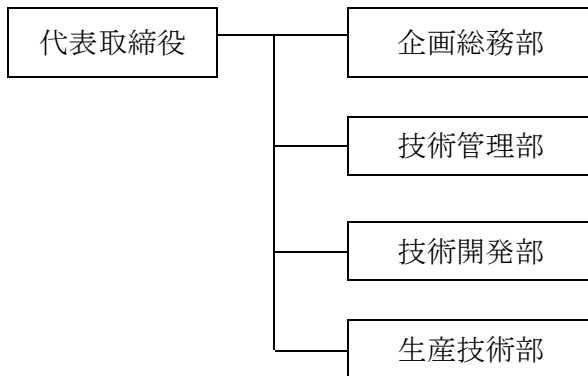
① 事業管理機関

一般財団法人ファインセラミックスセンター

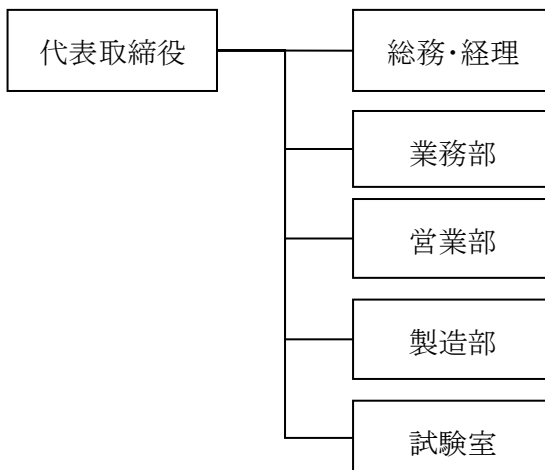


② 再委託先

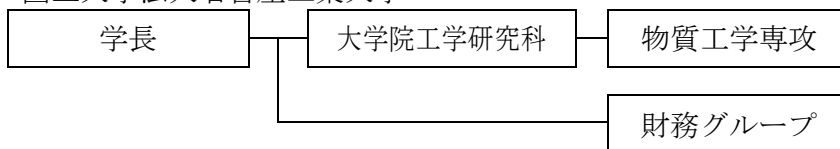
シーエムシー技術開発株式会社



株式会社西澤



国立大学法人名古屋工業大学



1-3 成果概要

平成23年度から平成25年度の3カ年研究開発の最終年度として、成果は以下の通りとなった。

サブテーマ①自動車電磁ノイズの吸収に適したMGCMCの開発

自動車の車両内部で発生するMHz～GHzの広帯域の吸収・減衰に適するMGCMCの材料開発を進めた。まず、電波吸収特性に優れた材料の開発として、素材となるカーボンマイクロコイル(CMC)の合成、CMCに担持するスピネルフェライト単体の低温合成、さらにスピネルフェライトを担持したCMC(MGCMC)の合成に取り組んだ。

CMCに担持するスピネルフェライトの作製条件、結晶性、微細構造、電波吸収特性の相関関係を解析した結果、高周波電波域において大きな電波吸収を示すフェライト粒子をより平易な合成条件で作製できることを明らかにした。一方、CMCに担持したフェライト微粒子の電子顕微鏡観察およびX線回折の結果、ナノオーダーの微細なNiスピネルフェライト結晶一次粒子から形成されていた。また、CMCにNiスピネルフェライトを担持したMGCMCを合成する一連の工業的製造技術の開発を行うと共に、MGCMCを均一粒度に連続乾燥する技術の確立を行った。さらに、開発した担持手法が工業化に極めて有利な超広帯域電波吸収体MGCMC製造法であることを明らかにした。フェライト材料の電磁波の透過反射特性から、電波吸収に寄与する損失を表す材料定数として、実効的な $\tan\delta$ を求めた。特にミリ波帯域では純粋なフェライト単体に比べてMGCMCの $\tan\delta$ は、4～5倍大きくなることが分かり、MGCMCの優位性が確認できた。

サブテーマ②電波吸収コーティング剤の開発

上記で開発したMGCMCを含む電波吸収コーティング剤は、広範囲なpH領域において水系溶媒でのMGCMCの分散性を安定に維持できる必要がある。そこで、各種界面活性剤による調製条件を検討した結果、調製したMGCMCコーティング剤を用いて基板へのMGCMC膜の作製に成功した。また、MGCMCを含む高濃度コーティング剤の調製についても、エマルジョンの安定化を検討した結果、塗布化に成功したが、今後は、長時間の安定性について改良する必要がある。開発したMGCMC高濃度電波吸収コーティング剤を用いて、各種製造条件で塗布した電波吸収ファブリックについて、自由空間法及び、同軸管法により評価した。リファレンス用布のみでは電磁波の吸収はほとんどないが、布へのMGCMC等の塗布により電波吸収量が増加し、マイクロ波、ミリ波帯域において透過減衰が得られた。

また、フェライト単独では減衰量が大きくないが、減衰量を増大させることができた。

各種コーティング試料について、材料定数（比誘電率, 実効導電率 σ ）を求め、その周波数依存性を把握した。リファレンス用布のみではほぼ空気（ $\epsilon' \sim 1$ 、 $\sigma = 0$ ）に近い。MG CMC等の布へのコーティング膜では、実使用下での減衰量のシミュレーション用の物性データとなる材料定数は $\epsilon' = 2 \sim 6$ 、 $\sigma = 0.1 \sim 7$ と求められ、電波吸収の向上が確認できた。

一方、自由空間法が適用できない0～6 GHzまでの透過減衰量を同軸管法により評価したところ、フェライト単独の場合の吸収は僅かであるが、MG CMCでは8～9 dBの反射減衰が得られ、構造設計の改善により低周波数帯域での電波吸収特性の増大も確認できた。

サブテーマ③ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）の開発

電波吸収コーティング剤を活用した電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）を開発した。シート材用の布に対して、200～300 μm ほどの膜厚でMG CMCコーティングすることに成功し、その吸収性能を評価した結果、ミリ波帯域で透過減衰が得られ、これを積層し、更に大きなノイズ抑制効果が得られることが確認できた。不織布へMG CMC高濃度コーティング剤を塗布する際、コーティング剤中の活性剤、増粘剤、分散剤の混合比率を変化させることにより、不織布への組成ムラも少なく良好なコーティング膜を形成することに成功した。このコーティング剤を均質な状態で塗布した不織布を乾燥することで耐剥離性に優れた電波吸収ファブリックの作製が可能になった。

また、電波吸収ファブリックを実車に搭載した場合を想定した実規模試験（自動車搭載試験）を模擬した広帯域電磁界解析装置による電磁界シミュレーションを実施して、電波吸収ファブリックの基本的な開発仕様を決定した。その結果、0.3～3 GHzの周波数で減衰を10 dB以上とすることができた。周波数が高くなるほど、減衰量が大きくなることが期待されるので3 GHzよりも更に高い周波数領域であるマイクロ波及びミリ波帯域においても減衰量は10 dB以上となると考えられる。

したがって、さらに電波吸収ファブリックのプロセス設計を改善することで、ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）への適用が可能となると考える。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

一般財団法人ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 幾原裕美

TEL : (052) 871-3500 FAX : (052) 871-3599

E-mail : yumi@jfcc.or.jp

第2章 本論

2-1 自動車電磁ノイズの吸収に適したMGCMCの開発

自動車内での良好な電磁波環境を得るために不要な電磁波干渉を防ぐ高効率な電波吸収材料が強く望まれている。従来、比較的狭い周波数帯域で強い電波吸収を示す材料として、金属材料、誘電材料、磁性材料など様々な材料が開発されてきた。最近では、単一材料で幅広い周波数帯域をカバーできる電波吸収体の開発の要求が高まっており、カーボンマイクロコイル（CMC）が候補材料として注目されている。CMCは非晶質カーボンがコイル状に巻いた特異な材料であり、その電氣的、機械的性質に加え、10GHzを超える高い周波数領域で多数の吸収ピークを示す電波吸収体である。そこで、フェライトとCMCを複合化したMGCMCの機能向上を目指し、さらに広帯域の電波吸収材の開発を進めた。

CMCに担持するフェライトの作製条件と結晶構造、粒子径、磁気特性の関係およびこれらと電波吸収特性との相関性を（図2.1）検討した。

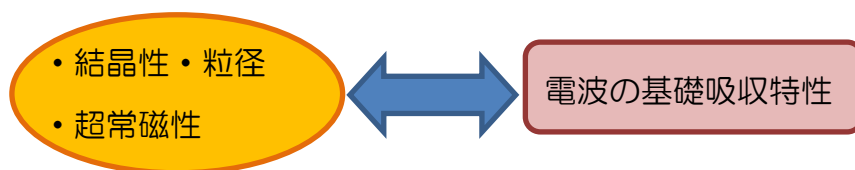


図2.1 材料の合成条件と微構造と電波吸収特性との相関性

金属塩化物含む水溶液を出発原料として共沈させることによりフェライトを作製した。図2.2にフェライト粒子の透過型電子顕微鏡観察結果を示す。電子線回折パターンよりフェライトの(113)、(004)、(044)に対応する指数面が観測でき、この回折リングの一部の領域から選択して得た暗視野像（図2.2(a)）より、粒子径は、約3-5nmで微粒子であることが確認できた。得られた共沈フェライトについて、電波吸収特性を評価した結果、GHzレベルの広帯域の電波吸収を示した。この高周波電波域において観察された大きな電波吸収は共沈体微粒子の結晶サイズに強く依存した。

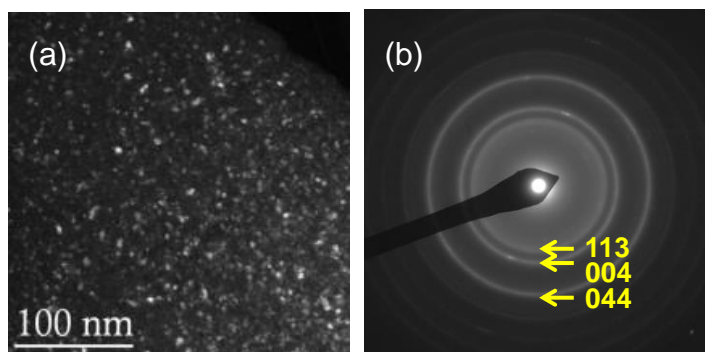


図 2.2 共沈フェライト粒子の微構造

そこで、金属塩化物を含む水溶液を出発原料としてフェライトをCMCに共沈させることで図 2.3 に示すような磁性体担持 CMC (MGCMC) の合成を行った。MGCMC のコイル断面の走査型電子顕微鏡観察写真および EDS 法による Fe、Ni、C の各元素のマッピング分析結果を図 2.4 に示す。フェライトが微粒子であるため、コイルの表面に均一に担持できた。

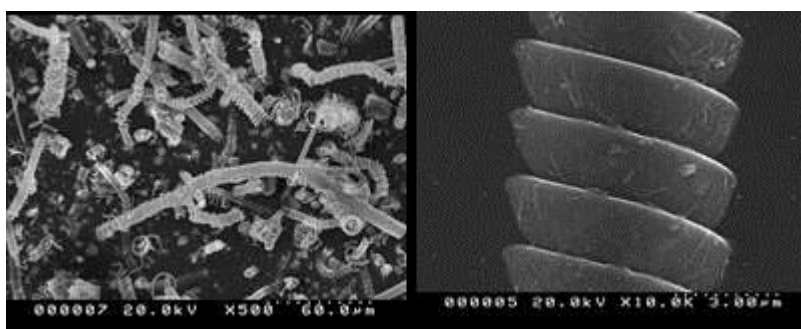


図 2.3 フェライトを担持した CMC (MGCMC) の微細構造

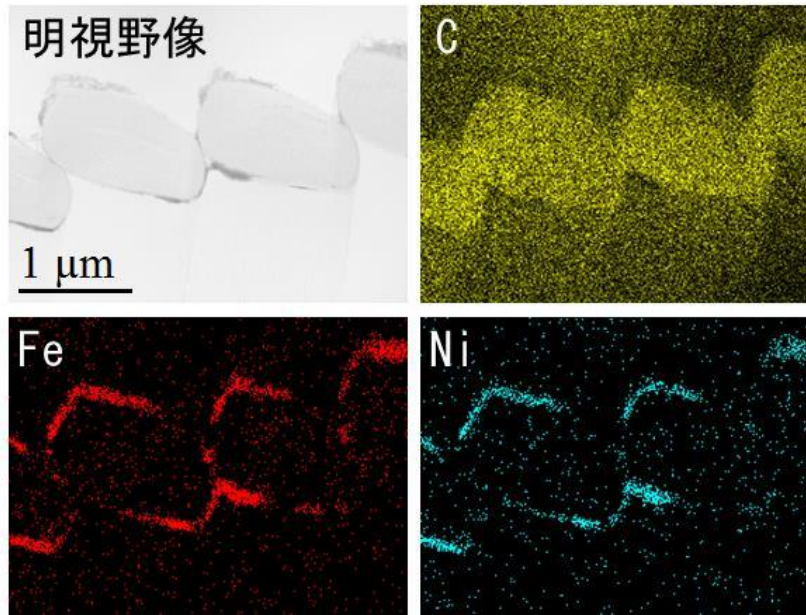


図2.4 フェライトを担持したCMC (MGCMC) の断面元素マッピング

フェライト、MGCMCについて、それぞれ電波の透過反射特性の測定を行い、実効的複素比誘電率の実部 (ϵ')、虚部 (ϵ'')、及び $\tan \delta$ ($= \epsilon'' / \epsilon'$) を算出した。MGCMCについては、 $\tan \delta$ は広い周波数帯域でゆるやかに変化し、特にミリ波帯域では純粋なフェライト単体に比べてMGCMC は、4～5倍大きくなった。 $\tan \delta$ は、電波吸収の大きさに比例するので、MGCMCにおいては、CMCとフェライトの複合材料としての材料定数を表す $\tan \delta$ が増大したことで、MGCMCの電波吸収特性がフェライト単体材料よりも明らかに向上していることを証明した。

2-2 電波吸収コーティング剤の開発

環境に配慮した水系のエマルジョン溶液中でMGCMCの凝集を防ぎ、均一なコーティング剤を調製、最適化を進めることにより、自動車内装材に織染加工が可能な電波吸収コーティング剤を作製した。

布へのコーティング試料とリファレンス用布の材料定数（複素比誘電率、実部 ϵ' 及び虚部 ϵ'' ）の計算結果を示す。 ϵ'' は誘電損率（損失係数）とも呼ばれ、吸収の大きさに比例する量で、リファレンス用布のみではほぼ空気の値 ($\epsilon' \sim 1$ 、 $\epsilon'' = 0$) に近く、無損失であった。

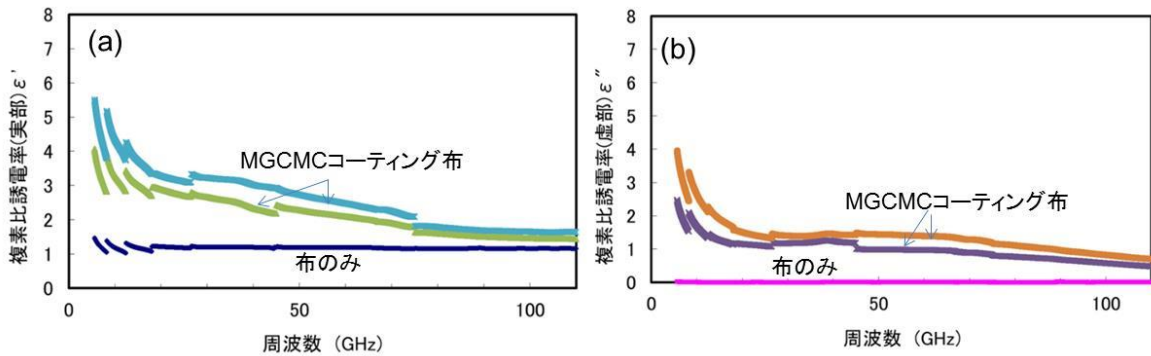


図 2.5 布コーティング膜の複素比誘電率の一例 (a) 実部 (b) 虚部

一方、MGCMCを布へコーティングすることにより、 $\epsilon' = 2 \sim 6$ 、 $\epsilon'' = 0.1 \sim 7$ 程度となり、電波吸収特性の向上が明らかとなった(図 2.5)。布コーティング膜の材料定数は、膜厚に依存しない物性定数となるので、布コーティング膜の材料定数を把握すれば、電磁界解析シミュレーションにより、実使用環境下での減衰量を計算により予測することができる。

2-3 ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材(電波吸収ファブリック)の開発

電波吸収コーティング剤を活用した電波吸収内装材(電波吸収ファブリック)を開発した。

フェライト、MGCMCを多く含有するコーティング剤の粘度を向上させるため、増粘剤、分散剤を調製する技術を確認した。その結果、自動車用内装材である不織布に、コーティング剤を塗布した際、組成ムラも少なく良好なコーティング膜を形成することに成功した。このコーティング剤を均質な状態で塗布した不織布を乾燥することで耐剥離性に優れた電波吸収ファブリックの作製が可能になった。

開発した電波吸収コーティング剤を実際の布上に各種製造条件で塗布した電波吸収ファブリックについて、自由空間法(6 GHz以上、IEC 62431)及び、同軸管法(0.01~6 GHz)により、主なノイズ抑制の対象周波数であるMHz帯を含むマイクロ波及びミリ波帯域での電磁波の吸収特性を評価した結果、リファレンス用布、フェライトコーティング布のみでは、ほとんど減衰を示さないが、MGCMCコーティングによりマイクロ波帯域及びミリ波帯域において透過減衰が得られた(図 2.6)。

さらにコーティング剤を改良、コーティング膜の構造設計の改善により、電波吸収の増大が確認できた。また、単位面積当たりの塗布量の増加及び膜の厚みとともに減衰量が大きく

なることが分かった。

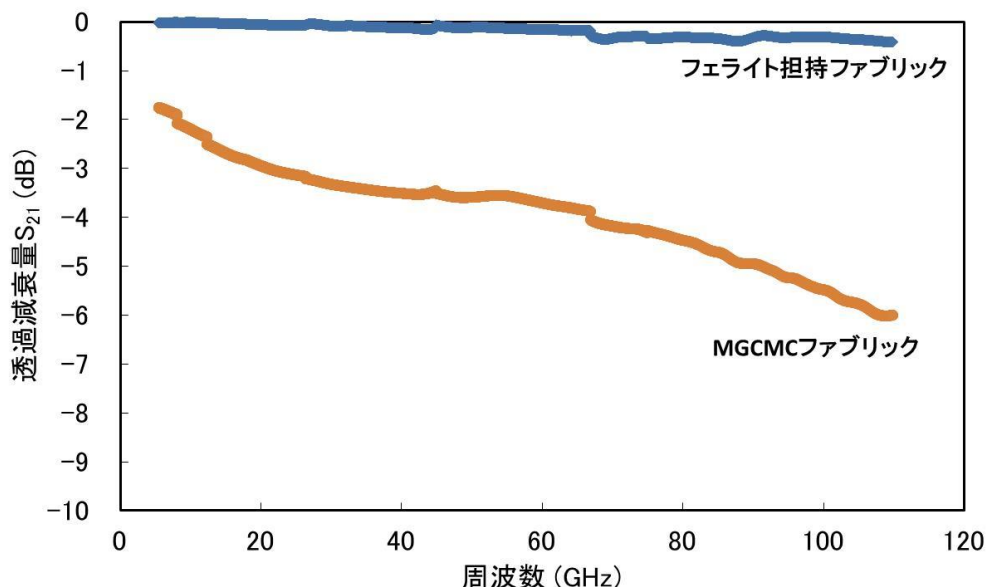


図 2.6 MGCMCファブリックの電波吸収特性

自動車内部に電波吸収ファブリックを配置した場合のノイズ低減効果を明らかにするため、自動車を模擬した筐体内部の電磁界強度分布を、電波吸収ファブリックの厚みや材料定数（比誘電率 ϵ' 、実効導電率 σ ）について求め、電波吸収ファブリックに求められる材料定数の仕様を決定した。まず、自動車内の筐体及び座席シートのモデル構造を決定し、車内にファブリックが貼付されているものとして筐体内部の電磁界強度のシミュレーションを実施した。電波吸収ファブリックの材料定数の測定評価結果を用いて計算した結果、吸収量の大きさを表す実効導電率 σ が比較的広い範囲（0.1～10）で、10 dB以上の減衰を得ることができた。開発したシートは材料定数は $0.1 < \sigma < 10$ であるので、シート配置を変化させることで0.3～3 GHzの周波数で減衰を10 dB以上とすることが可能であることが分かった。一方、自動車内の多重反射があるような環境下では、0～6 GHzにおけるMGCMC等コーティング膜は、何度も繰り返し吸収が起こることによってトータルの減衰量は以上のシミュレーション結果より10 dBを超すことが期待される。また、3 GHzよりも更に高い周波数領域であるマイクロ波及びミリ波帯域においても、減衰量は10 dB以上となると考えられるので、電波吸収ファブリックの利用により、自動車内での広帯域でのノイズ減衰が期待できる。

2-4 プロジェクトの管理運営

2-4-1 進捗管理・物品管理

各研究において研究開発が計画通りに進められるように進捗状況を把握するとともに、再委託先の連携等の調整を図った。新規機械装置の発注、導入を行うことにより、研究開発が円滑に進むよう調整するとともに、導入機械装置の管理を行った。

2-4-2 研究開発委員会の開催

研究開発委員会をH25年度は、3回開催した。

- ・第1回研究開発委員会 日時 平成25年7月25日（木）
- ・第2回研究開発委員会 日時 平成25年11月21日（木）
- ・第3回研究開発委員会 日時 平成26年2月27日（木）

第3章 全体総括

3-1 研究成果総括

本開発研究では、ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）を開発することを目的に下記の3テーマについて検討した。その結果、多くの知見と新しい技術を開発することができた。

①自動車電磁ノイズの吸収に適したMGCMCの開発

高性能MGCMCに必要な大きな電波吸収を示す担持フェライトがより工業化に適した平易な条件で作製することができた。このフェライトの合成手法をもとに、高性能なMGCMCの合成のスケールアップに成功した。

②電波吸収コーティング剤の開発

MGCMCを活用した電波吸収コーティング剤の開発を進めた。コーティング剤へのMGCMCの分散性を改善するために、MGCMCが容易に均一にエマルジョンに分散するコーティング剤を開発することに成功した。MGCMCを含む高濃度コーティング剤の溶液調製についても種々の条件を検討した結果、各種シートへの製膜化に成功した。各種コーティング試料について、材料定数（比誘電率 ϵ' 、実効導電率 σ ）を求め、その周波数依存性を把握した。

③ハイブリッド自動車・電気自動車用電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）の開発

電波吸収コーティング剤を活用した電波吸収内装材（電波吸収ファブリック）を開発した。比重の高いMGCMCを多く含有するコーティング剤の粘度を向上させるため、増粘剤、分散剤を調製させることにより、MGCMCが均一に分散できるコーティング剤を作製した。このコーティング剤を自動車内装用の不織布に塗布することにより、組成ムラも少なく良好なコーティング膜を形成することに成功した。このコーティング剤を均質な状態で塗布した不織布を乾燥することで耐剥離性に優れた電波吸収ファブリックの作製が可能になった。コーティング材の組成や膜厚及び織布と組合せた電波吸収ファブリックを実車に搭載した場合を想定した実規模試験（自動車搭載試験）を模擬した広帯域電磁界解析装置による電磁界シミュレーションを実施することで、電波吸収ファブリックの基本的な開発仕様を決定した。また、シミュレーション解析の結果、電波吸収ファブリックのシート配置を変化させることにより、0.3GHz～3GHz以上の周波数帯域において、減衰が10dB以上になった。したがって、本事業で開発した電波吸収ファブリックの利用により、自動車内部での広帯域の電磁ノイズ抑制が可能となる。

3-2 研究開発後の課題

本研究開発の成果である電波吸収ファブリックを自動車、航空機、医療機器等の分野に向けて事業化を行うため、自動車メーカー、航空機メーカー、医療機器メーカー等のユーザーニーズを抽出し、それらニーズに適した仕様、性能等のカーシート、天井材、間仕切りカーテン等として製品する必要がある。

電波吸収ファブリックの品質評価・管理技術及び手法を開発することでこれらの課題の解決を図り、ユーザーニーズの適した製品開発、製品製造を行う。

3-3 事業化展開

本研究開発の参画企業が連携して自動車電磁ノイズ用MGCMC、MGCMCを配合した電波吸収コーティング剤および電波吸収ファブリックの製造と販売を行う。電波吸収ファブリックは、アドバイザー企業をはじめ自動車内装材(自動車ファブリック)メーカーおよび商社へ販売し、それら企業がカーシート、天井材、間仕切りカーテン等に加工し、最終商品として自動車メーカー、航空機メーカー、医療機器メーカーに供給する。